UNIVERSITE DE MONTREAL

ANALYSE DE L'ASPECT SAISONNIER DES DEBITS EXTREMES A TRAVERS LE CANADA

V. 1

par

Louise REMILLARD

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

ECOLE POLYTECHNIQUE

MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION
DU GRADE DE MAITRE ES SCIENCES APPLIQUEES (M.Sc.A.)

Mars 1989

c droits réservés de Louise Rémillard 1989.

Permission has been granted to the National Library of Canada to microfilm this thesis and to lend or sell copies of the film.

The author (copyright owner) has reserved other publication rights, and neither the thesis nor extensive extracts from it may be printed or otherwise reproduced without his/her written permission.

L'autorisation a été accordée à la Bibliothèque nationale du Canada de microfilmer cette thèse et de prêter ou de vendre des exemplaires du film.

L'auteur (titulaire du droit d'auteur) se réserve les autres droits de publication; ni la thèse ni de longs extraits de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation écrite.

ISBN 0-315-50208-8

UNIVERSITE DE MONTREAL

ECOLE POLYTECHNIQUE

Ce mémoire intitulé:

ANALYSE DE L'ASPECT SAISONNIER DES DEBITS EXTREMES A TRAVERS LE CANADA

présenté par Louise REMILLARD

en vue de l'obtention du grade de Maître es Sciences Appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de:

M. François BRIERE, M.E., président

M. Douglas SPARKS, M.A.S.

M. Fahim AHSKAR, Ph.D.

M. Jean ROUSSELLE, Ph.D.

SOMMAIRE

Ce projet a pour but d'étudier le caractère saisonnier des crues au Canada. L'objectif premier consiste à faire ressortir les différents critères indiquant la pertinence d'effectuer une analyse saisonnière et de définir, le cas échéant, les paramètres utiles pour l'analyse. Le second objectif vise à déterminer les différentes régions du Canada concernées par l'analyse saisonnière.

Les séries de durée partielle et le modèle des excédances sont employés parce qu'ils conviennent bien à ce genre d'analyse. Deux approches ont été utilisées afin de découper de façon rationnelle les séries de débits, l'une consiste à découper selon les phénomènes générateurs des crues et l'autre consiste à découper l'année en périodes homogènes. Une analyse saisonnière a été effectuée pour chacune des 166 stations hydrométriques sélectionnées sur l'ensemble du territoire canadien.

Une vue d'ensemble des résultats a permis de faire ressortir les régions les plus concernées par l'analyse saisonnière. En général, ces régions se situent au sud du Canada. Les résultats obtenus pour les provinces maritimes, le sud de l'Ontario et les provinces des prairies, ont permis de démontrer la pertinence de l'analyse saisonnière. On observe que les résultats de l'analyse de fréquence sont surtout améliorés lorsque la station présente un ou plusieurs événements rares.

ABSTRACT

The purpose of this project is to study the seasonal characteristics of floods across Canada. Its primary objective is to determine useful criteria when judging the pertinence of a seasonal analysis, and its secondary objective is to distinguish regional characteristics of these criteria throughout Canada.

Partial duration series and the exceedance model for extreme floods are used because of their adaptability to this kind of study. Two methods are investigated as a basis for determining seasons, one considering flood generating phenomena and the other homogeneous periods based on dates. Seasonal analyses were performed on 166 hydrometric stations from all regions of Canada.

An overview of the results of these analyses shows that, in general, southern regions of Canada are those most concerned with seasonal flood variations. The maritimes, southern Ontario and the prairie provinces all exhibit characteristics which lead to pertinent seasonal analyses. Results obtained for frequency analyses for stations with one or more very extreme events were considerably improved when a seasonal approach was used.

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à adresser mes plus sincères remerciements à monsieur Jean Rousselle et monsieur Douglas Sparks, co-directeurs, pour leur aide et leur appui tout au long de cette étude.

Je remercie également le Fonds pour la Formation de Chercheurs et l'Aide à la Recherche (FCAR), pour l'aide financière accordée sous forme de bourses d'études supérieures, ainsi que le Conseil de la Recherche en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (CRSNG), pour le support financier de mes travaux de recherche par l'intermédiaire du projet thématique "Modélisation statistique et régionalisation des caractéristiques de crues du Canada".

Je tiens de plus à remercier monsieur Fahim Ashkar et monsieur François Brière pour leurs commentaires.

Je tiens finalement à exprimer toute ma reconnaissance à monsieur Denis Martin pour son aide précieuse lors de l'élaboration des programmes informatiques développés pour cette étude, ainsi qu'à madame Claire Duval, monsieur Patrick Niquette, monsieur Patrick Brunet, madame Carole Giguère Pinsonneault et monsieur Gaston Patenaude qui ont contribué à la forme finale de ce mémoire.

TABLE DES MATIERES

VOLUME I PAGE

SOMMAIRE. iv

ABSTRACT. v

REMERCIEMENTS vi

TABLE DES MATIERES. vii

LISTE DES FIGURES x

LISTE DES TABLEAUX. xxiii

CHAPITRE I - INTRODUCTION 1

CHAPITRE II - CONSIDERATION DU CARACTERE SAISONNIER DES CRUES DANS LA THEORIE DU MODELE DES EXCEDANCES 4

2.1 - Introduction 4
2.2 - Comparaison entre les séries annuelles et les séries de durée partielle 5
2.3 - Rappel sur les séries de durée partielle . . 7
2.3.1 - Définition 7
2.3.2 - Analyse du phénomène de crue 7
2.4 - Historique du modèle des excédances. 9
2.5 - Etude de l'aspect saisonnier des crues . . . 17
2.5.1 - Approches basées sur l'analyse de la série de crues 18
2.5.2 - Approches basées sur les phénomènes générateurs de crues 20
2.5.3 - Autres approches 23
2.5.4 - Discussion 27
2.6 - Choix du débit de base 30

CHAPITRE III - METHODOLOGIE 33

3.1 - Choix d'un débit de base et indépendance des excédances 35
3.2 - Découpage de la série de durée partielle . . 39
3.2.1 - Découpage selon les phénomènes générateurs de crues 39
3.2.2 - Découpage en périodes homogènes. . . 41

3.3 - Vérification des hypothèses. 44
3.3.1 - Vérification de l'ajustement de la loi de Poisson 44
3.3.2 - Vérification de l'ajustement de la loi exponentielle. 46
3.3.3 - Vérification de l'hétérogénéité entre les populations. 46
3.4 - Analyse de fréquence 47

CHAPITRE IV - APPLICATION. 50

4.1 - Données hydrométriques 50
4.1.1 - Choix des stations hydrométriques. . 50
4.1.2 - Détermination de la période d'observation. 59
4.2 - Données météorologiques. 61
4.2.1 - Choix des stations météorologiques . 61
4.2.2 - Détermination du nombre de jours antécédents. 61
4.3 - Exemples d'application 63
4.3.1 - Exemple no.1 64
4.3.2 - Exemple no.2 72
4.3.3 - Exemple no.3 80
4.4 - Résultats. 90
4.4.1 - Provinces maritimes. 93
4.4.2 - Québec 96
4.4.3 - Ontario. 99
4.4.4 - Provinces des prairies 100
4.4.5 - Colombie-Britannique 103
4.4.6 - Territoires du Yukon et du Nord-Ouest 105

CHAPITRE V - DISCUSSION 107

5.1 - Vue d'ensemble des résultats 107
5.2 - Découpage en périodes homogènes. 110
5.3 - Découpage selon les phénomènes générateurs de crues 111
5.4 - Ajustement du modèle des excédances. 113
5.4.1 - Généralités. 113
5.4.2 - Ajustement des lois de Poisson et exponentielle. 113
5.4.3 - Effets de l'étude saisonnière. . . . 115

CHAPITRE VI - CONCLUSION 117

REFERENCES 120

VOLUME II

ANNEXE A - Liste des stations hydrométriques et météorologiques sélectionnées. A-1

ANNEXE B - Résultats de l'analyse saisonnière et de l'analyse de fréquence des stations hydrométriques considérées dans les provinces maritimes B-1

ANNEXE C - Résultats de l'analyse saisonnière et de l'analyse de fréquence des stations hydrométriques considérées au Québec. C-1

ANNEXE D - Résultats de l'analyse saisonnière et de l'analyse de fréquence des stations hydrométriques considérées en Ontario D-1

ANNEXE E - Résultats de l'analyse saisonnière et de l'analyse de fréquence des stations hydrométriques considérées dans les provinces des prairies. E-1

ANNEXE F - Résultats de l'analyse saisonnière et de l'analyse de fréquence des stations hydrométriques considérées en Colombie-Britannique. F-1

ANNEXE G - Résultats de l'analyse saisonnière et de l'analyse de fréquence des stations hydrométriques considérées dans les territoires du Yukon et du Nord-Ouest G-1

LISTE DES FIGURES

FIGURE		PAGE
VOLUME I		
2.1	Hydrogramme de ruissellement	8
2.2	Graphe du nombre moyen annuel d'excédances en fonction du temps (Ashkar et Rousselle, 1985)	19
2.3	Généralisation d'une classification hydroclimatique des débits de crue (Hirschboeck, 1985)	24
2.4	Modèle hydroclimatique avec distributions asymétriques dont les moyennes et les variances varient dans le temps (Hirschboeck, 1985).	24
3.1	Organigramme de la méthodologie employée	36
3.2	Exemple du graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)	40
3.3	Exemple du graphe du nombre moyen d'excédances $\lambda(t)$ en fonction du temps pour différents débits de base. . .	42
3.4	Exemple de l'histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude et du mois.	43
3.5	Exemple du graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence	48
4.1	Localisation des stations hydrométriques considérées dans les provinces maritimes	52
4.2	Localisation des stations hydrométriques considérées au Québec.	53
4.3	Localisation des stations hydrométriques considérées en Ontario	54
4.4	Localisation des stations hydrométriques considérées dans les provinces des prairies.	55
4.5	Localisation des stations hydrométriques considérées en Colombie-Britannique.	56
4.6	Localisation des stations hydrométriques considérées dans les territoires du Yukon et du Nord-Ouest	57

4.7 Résultats de l'analyse saisonnière
Stations 02OB003 + 02OB017 66

4.8 Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence pour différents débits de base
Stations 02OB003 + 02OB017 69

4.9 Ajustement des lois exponentielle et de Poisson
Stations 02OB003 + 02OB017 (Q_{base} = 156.0 m^3/s) 71

4.10 Résultats de l'analyse saisonnière
Stations 02PA001 + 02PA007 74

4.11 Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence pour différents débits de base
Stations 02PA001 + 02PA007 77

4.12 Ajustement des lois exponentielle et de Poisson
Stations 02PA001 + 02PA007 (Q_{base} = 513.0 m^3/s) 79

4.13 Résultats de l'analyse saisonnière
Station 02VA001. 82

4.14 Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence pour différents débits de base (découpage en périodes homogènes)
Station 02VA001. 85

4.15 Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence (découpage selon les phénomènes générateurs)
Station 02VA001. 87

4.16 Ajustement des lois exponentielle et de Poisson
Station 02VA001 (Q_{base} = 136.0 m^3/s) 89

VOLUME II

B1 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 01AD002. . . . . B-6

B2 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 01AD003. . . . . B-9

B3 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 01AK001. . . . . B-12

B4 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 01AP002. . . . . B-15

B5 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 01AQ001. . . . . B-18

B6 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 01BE001. . . . . B-22

B7 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 01BJ001. . . . . B-25

B8 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 01BO001. . . . . B-28

B9 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 01BP001. . . . . B-31

B10 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 01DB002. . . . . B-34

B11 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 01DC003. . . . . B-37

B12 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 01DG003. . . . . B-40

B13 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 01DR001. . . . . B-43

B14 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 01EC001. . . . . B-46

B15 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 01EF001. . . . . B-49

B16 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 01EH003. . . . . B-52

B17 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 01EK001. . . . . B-55

B18 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 01EO001. . . . . B-58

B19 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 01FB001. . . . . B-61

B20 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 01FB003. . . . . B-64

B21 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 01FH001. . . . . B-67

B22 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 02YL001. . . . . B-70

B23 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 02YQ001. . . . . B-73

B24 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 02YS001. . . . . B-76

B25 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 02ZF001. . . . . B-79

B26 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 02ZH001. . . . . B-82

B27 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 02ZK001. . . . . B-85

B28 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 02ZM006. . . . . B-88

C1 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 01BH002. . . . . C-8

C2 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 02JB004. . . . . C-11

C3 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 02KG001. . . . . C-15

C4 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Stations 02LC004 + 02LC007 . . . . . C-18

C5 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Stations 02LC002 + 02LC029 . . . . . C-21

C6 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Stations 02ND002 + 02ND001 . . . . . C-24

C7 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 02NF003. . . . . C-27

C8 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 02OB001. . . . . C-30

C9 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Stations 02OB002 + 02OB007 . . . . . C-33

C10 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Stations 02OB003 + 02OB017 . . . . . C-36

C11 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02OC002. . . . . C-39

C12 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Stations 02OC001 + 02OC005 . . . . . C-42

C13 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02OD001. . . . . C-45

C14 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02OE018. . . . . C-48

C15 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Stations 02OE026 + 02OE013 + 02OE027 . . . . . C-51

C16 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02PA003. . . . . C-55

C17 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence StatioNS 02PA001 + 02PA007 . . . . . C-58

C18 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02PD002. . . . . C-61

C19 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Stations 02PG002 + 02PG018 + 02PG019 . . . . . C-64

C20 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Stations 02PH001 + 02PH010 . . . . . C-68

C21 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Stations 02PH004 + 02PH011 . . . . . C-71

C22 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02PJ005. . . . . C-74

C23 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02PJ007. . . . . C-77

C24 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02PL001. . . . . C-80

C25 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02QA001. . . . . C-83

C26 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02QB001. . . . . C-86

C27 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Stations 02QB003 + 02QB005 . . . . . C-89

C28 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 02QC001. . . . . C-92

C29 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 02RD002. . . . . C-95

C30 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 02RD003. . . . . C-98

C31 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 02RF001. . . . . .C-101

C32 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 02VA001. . . . . .C-104

C33 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 02VC001. . . . . .C-108

C34 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Stations 03AC001 + 03AC005 . . . . . .C-111

C35 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Stations 03AC002 + 03AC007 . . . . . .C-114

C36 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Stations 03HA009 + 03HA012 . . . . . .C-117

C37 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 03KC004. . . . . .C-120

C38 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 03LF002. . . . . .C-123

C39 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 03MC002. . . . . .C-126

C40 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Stations 04NA002 + 04NA001 . . . . . .C-129

D1 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 02AB008. . . . . D-5

D2 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 02EA005. . . . . D-8

D3 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 02EC002. . . . . D-11

D4 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 02ED003. . . . . D-14

D5 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02FB007. . . . . D-17

D6 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02FC001. . . . . D-20

D7 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02FC002. . . . . D-23

D8 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02FC011. . . . . D-26

D9 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02FF002. . . . . D-29

D10 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02GA010. . . . . D-32

D11 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02GA018. . . . . D-35

D12 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02GD010. . . . . D-38

D13 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02GG002. . . . . D-41

D14 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02HC009. . . . . D-44

D15 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02KB001. . . . . D-47

D16 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 02LB007. . . . . D-50

D17 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 04JA002. . . . . D-53

D18 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 04JC003. . . . . D-56

D19 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 04LJ001. . . . . D-59

D20 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 05PA006. . . . . D-62

D21 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 05PB014. . . . . D-65

D22 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 05QA001. . . . . D-68

D23 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 05QE009. . . . . D-71

E1 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 05AA022. . . . . E-6

E2 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 05AA023. . . . . E-9

E3 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 05AD003. . . . . E-12

E4 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 05BA001. . . . . E-16

E5 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 05BB001. . . . . E-19

E6 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 05BJ005. . . . . E-22

E7 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 05CE001. . . . . E-25

E8 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 05DB001. . . . . E-28

E9 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 06AD006. . . . . E-31

E10 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 07AA002. . . . . E-34

E11 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 07AF002. . . . . E-37

E12 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 07AG001. . . . . E-40

E13 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 07AG003. . . . . E-43

E14 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 07BB002. . . . . E-46

E15 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 07BC002. . . . . E-49

E16 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 07BE001. . . . . E-52

E17 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 07BK006. . . . . E-55

E18 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 07CD001. . . . . E-58

E19 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 07GJ001. . . . . E-61

E20 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 07HC001. . . . . E-64

E21 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 05FE001. . . . . E-67

E22 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 05KG002. . . . . E-70

E23 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 04AC005. . . . . E-73

E24 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 05LC004. . . . . E-76

E25 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 05LE001. . . . . E-79

E26 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 05MD005. . . . . E-82

E27 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 05OE004. . . . . E-85

E28 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 05PH003. . . . . E-88

E29 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 05TB002. . . . . E-91

E30 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 05TD001. . . . . E-94

F1 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 08EE004. . . . . F-6

F2 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 08HB014. . . . . F-9

F3 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 08JB002. . . . . F-12

F4 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 08KA004. . . . . F-15

F5 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 08KB001. . . . . F-19

F6 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 08KH003. . . . . F-22

F7 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 08KH006. . . . . F-25

F8 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 08LA001. . . . . F-29

F9 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 08LA004. . . . . F-32

F10 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 08LB022. . . . . F-35

F11 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 08LF051. . . . . F-38

F12 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 08MA002. . . . . F-41

F13 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 08MG003. . . . . F-44

F14 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 08MG005. . . . . F-47

F15 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 08NA002. . . . . F-50

F16 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 08NB005. . . . . F-53

F17 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 08NE001. . . . . F-56

F18 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 08NE008. . . . . F-59

F19 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 08NE039. . . . . F-62

F20 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 08NF001. . . . . F-65

F21 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 08NG005. . . . . F-68

F22 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 08NG012. . . . . F-71

F23 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 08NG042. . . . . F-74

F24 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 08NG046. . . . . F-77

F25 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 08NG053. . . . . F-80

F26 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 08NH001. . . . . F-83

F27 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 08NH006. . . . . F-86

F28 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 08NH007. . . . . F-89

F29 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 08NJ013. . . . . F-92

F30 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 08NJ014. . . . . F-95

F31 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 08NL007. . . . . F-98

F32 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 08NP001. . . . . F-101

F33 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 09AA006. . . . . F-104

F34 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 10BE001. . . . . F-107

F35 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 10CB001. . . . . F-110

G1 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence
Station 09AB008. . . . . G-3

G2 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 09AE001. . . . . G-6

G3 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 09BC001. . . . . G-9

G4 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 09DC002. . . . . G-12

G5 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 07OB001. . . . . G-15

G6 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 07RD001. . . . . G-18

G7 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 07UC001. . . . . G-21

G8 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 10ED001. . . . . G-24

G9 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 10JA002. . . . . G-27

G10 Résultats de l'analyse saisonnière et de fréquence Station 10RC001. . . . . G-30

Note : Les résultats de l'analyse saisonnière et de l'analyse de fréquence sont présentés à l'aide de plusieurs figures. Chacun des numéros de figure de la liste précédente est associé à une station hydrométrique donnée. Dans les annexes B à G, les différentes figures spécifiques à cette station sont identifiées par les lettres a à e. Ces figures sont présentées dans l'ordre suivant:

- graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm), s'il y a lieu;
- graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base;

- histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois;
- graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence (découpage en périodes homogènes);
- graphe du débit de pointe en fonction du nombre d'années de récurrence (découpage selon les phénomènes générateurs), s'il y a lieu.

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU		PAGE
VOLUME I		
4.1	Répartition des stations hydrométriques considérées entre les différentes provinces et territoires	58
4.2	Intervalles considérés pour la détermination de la période d'observation.	60
4.3	Nombre de jours antécédents considérés en fonction de la superficie du bassin versant	62
4.4	Valeurs des coefficients λ_i et β_i	84
4.5	Résultats de l'analyse de fréquence avec et sans l'événement du 27 octobre 1959	88
VOLUME II		
A.1	Liste des stations hydrométriques considérées dans les provinces maritimes	A-2
A.2	Liste des stations hydrométriques considérées au Québec.	A-5
A.3	Liste des stations hydrométriques considérées en Ontario	A-9
A.4	Liste des stations hydrométriques considérées dans les provinces des prairies.	A-11
A.5	Liste des stations hydrométriques considérées en Colombie-Britannique.	A-14
A.6	Liste des stations hydrométriques considérées dans les territoires du Yukon et du Nord-Ouest	A-18
B.1	Résultats de l'analyse de fréquence des stations hydrométriques considérées dans les provinces maritimes.	B-2
C.1	Résultats de l'analyse de fréquence des stations hydrométriques considérées au Québec	C-2

D.1 Résultats de l'analyse de fréquence des stations hydrométriques considérées en Ontario. D-2

E.1 Résultats de l'analyse de fréquence des stations hydrométriques considérées dans les provinces des prairies E-2

F.1 Résultats de l'analyse de fréquence des stations hydrométriques considérées en Colombie-Britannique . . . F-2

G.1 Résultats de l'analyse de fréquence des stations hydrométriques considérées dans les territoires du Yukon et du Nord-Ouest. G-2

CHAPITRE I

INTRODUCTION

Cette étude se situe dans le cadre d'un projet thématique du Conseil de la Recherche en Sciences Naturelles et Génie du Canada (CRSNG) intitulé " Modélisation statistique et régionalisation des caractéristiques de crues au Canada " qui vise à améliorer les techniques utilisées lors de l'estimation des caractéristiques de crues. Les travaux ont été effectués entre le 1er novembre 1985 et le 31 octobre 1988.

Une des composantes de ce projet consiste à étudier le caractère saisonnier des crues à la grandeur du territoire canadien. Les diverses régions qui le compose se traduisent par différents régimes climatiques qui présentent tous des caractéristiques propres. Pour une région donnée, les régimes climatiques présentent également une variabilité saisonnière qui entraîne un non-respect de l'hypothèse de base considérée dans le modèle non-saisonnier, voulant que toutes les crues appartiennent à une même population. Dans cette optique, le caractère saisonnier des crues est un aspect important à considérer lors de l'analyse de fréquence des crues.

L'objectif premier de cette étude consiste donc à faire ressortir les différents critères servant à indiquer la pertinence d'effectuer une analyse saisonnière, et de définir, le cas échéant, les paramètres

utiles pour l'analyse saisonnière. Le second objectif vise à déterminer les différentes régions du Canada concernées par l'analyse saisonnière.

Les séries de durée partielle sont utilisées parce qu'elles conviennent mieux à l'analyse saisonnière que les séries annuelles. Elles renferment en effet, beaucoup plus d'informations concernant la variabilité des débits dans le temps. Parallèlement, le modèle des excédances est utilisé pour l'analyse de fréquence des séries de débits parce que son approche est suffisamment générale pour être applicable à n'importe quel intervalle de temps, rendant ainsi possible le découpage saisonnier.

Afin de découper de façon rationnelle les séries de débits, deux approches ont été appliquées. La première consiste à découper selon les phénomènes générateurs des crues et la seconde consiste à découper l'année en périodes homogènes. Une analyse saisonnière a été effectuée pour chacune des 166 stations sélectionnées sur l'ensemble du territoire canadien.

Le chapitre 2 traite de la considération du caractère saisonnier des crues dans la théorie du modèle des excédances. Les principales études concernées par l'aspect saisonnier des crues qu'on retrouve dans la littérature y sont exposées et commentées, établissant ainsi le contexte théorique dans lequel se situe la présente étude. Les

différentes étapes de la méthodologie sont ensuite décrites au chapitre 3. Le chapitre suivant expose de façon détaillée, trois exemples d'application. Les résultats obtenus pour chacune des régions étudiées sont ensuite présentés. La discussion accompagnée d'une vue d'ensemble des résultats obtenus composent le chapitre 5. Les conclusions et recommandations pour des travaux futurs viennent finalement clore cette étude.

Pour le bénéfice de travaux ultérieurs et dans le but d'améliorer l'accessibilité à l'information découlant de la présente étude, les principaux résultats issus de l'analyse saisonnière et de l'analyse de fréquence des 166 stations hydrométriques traitées sont fournis en annexe.

CHAPITRE II

CONSIDERATION DU CARACTERE SAISONNIER DES CRUES DANS LA THEORIE DU MODELE DES EXCEDANCES

2.1 INTRODUCTION

La considération du caractère saisonnier rattaché au phénomène de crue a amené plusieurs auteurs à réviser certaines des hypothèses de base de la théorie du modèle des excédances afin de tenir compte de cette variabilité temporelle. Parmi ces auteurs, citons: Todorovic et Rousselle (1971), Rousselle (1972), Gupta et al. (1976), Todorovic (1978), North (1980), Waylen (1981), Kavvas (1982a, 1982b), Cervantes et al. (1983) ainsi que Waylen et Woo (1983b, 1983c). Dans ce chapitre, leurs travaux seront brièvement décrits en insistant davantage sur les développements les plus pertinents à cette étude, mais nous discuterons tout d'abord des raisons motivant l'utilisation des séries de durée partielle pour une telle analyse. Différentes approches tirées de la littérature et portant sur l'analyse saisonnière des crues seront par la suite exposées. C'est en se basant sur ces diverses approches que sera définie la méthodologie qui nous permettra de réaliser un découpage saisonnier adéquat. Nous traiterons finalement des critères de choix du débit de base.

2.2 COMPARAISON ENTRE LES SERIES ANNUELLES ET LES SERIES DE DUREE PARTIELLE

L'analyse des crues peut se faire suivant deux approches principales: l'approche des séries annuelles et l'approche des séries de durée partielle. Les séries annuelles sont constituées à partir des débits de pointe maximums annuels alors que les séries de durée partielle regroupent tous les débits de pointe supérieurs à un niveau de reférence Q_{base} donné. Plusieurs auteurs ont fait une étude comparative de ces deux approches (Gupta et al., 1976; Rousselle et El-Jabi, 1977; Todorovic, 1978; Waylen, 1981; Waylen et Woo, 1983a).

Les auteurs soulignent d'abord le fait que dans les séries annuelles il est possible qu'un débit d'importance soit omis sous prétexte qu'il ne correspond pas au débit maximum de l'année. Cette omission pourrait s'avérer coûteuse dans le cas où l'on serait davantage concerné par la probabilité d'excéder un débit donné plutôt que par la probabilité que ce débit soit le plus grand de l'année (Waylen, 1981). De plus, un nombre plus élevé de crues peut être considéré lorsque les séries de durée partielle sont employées, ce qui peut entraîner moins d'incertitude lors de l'estimation des paramètres. Todorovic (1978) mentionne qu'un des principaux facteurs favorisant l'utilisation des séries de durée partielle réside dans le fait de tronquer l'hydrogramme de ruissellement à un certain niveau de base. Ceci peut nous amener à avoir une vision du phénomène pouvant nous

permettre d'attribuer une certaine structure stochastique aux processus reliés au dénombrement des excédances ainsi qu'à leur amplitude. Rousselle et El-Jabi (1977) ajoutent par ailleurs que non seulement cette approche fournit une description plus complète de la taille de la crue, mais elle peut aussi répondre à des questions du genre: 'Combien d'inondations sont probables ?', 'Quand est-il le plus probable qu'elles surviennent ?', et autres.

Les séries de durée partielle conviennent mieux à l'analyse saisonnière des crues parce qu'elles renferment beaucoup plus d'informations que les séries annuelles au sujet de la variabilité des débits maximums dans le temps (Hirschboeck, 1985). C'est la raison principale pour laquelle elles seront utilisées dans cette étude. Les excédances contenues dans la série de durée partielle seront modélisées suivant l'approche du modèle des excédances. L'hypothèse voulant que le nombre d'excédances dans un intervalle de temps fixe soit une variable aléatoire, rend l'approche du modèle des excédances suffisamment générale pour être applicable à n'importe quel intervalle de temps (Gupta et al., 1976), rendant ainsi possible le découpage saisonnier.

2.3 RAPPEL SUR LES SERIES DE DUREE PARTIELLE

2.3.1 Définition

La série de durée partielle a été définie par le U.S. Water Resources Council (1976) comme étant une série de pointes de crue indépendantes; la crue correspond alors aux débits qui excèdent un certain niveau de base (figure 2.1). Deux événements consécutifs peuvent être considérés comme indépendants si une durée minimale de D jours, définie par:

$$D = 5 + \ln A \qquad (2.1)$$

où A est égale à l'aire du bassin en mi^2, sépare les deux événements. Ce critère est sujet a une contrainte voulant que l'écoulement intermédiaire entre les deux pointes tombe à une valeur inférieure à 75% de la plus petite des deuxpointes (U.S. Water Resources Council, 1976 ; Taesombut et Yevjevich, 1978). Dans le cas où un événement comporterait plusieurs pointes dépendantes, seule la plus grande est considérée; la durée de la crue correspond alors à la somme de toutes les durées des excédances dépendantes.

2.3.2 Analyse du phénomène de crue

La figure 2.1 représente un hydrogramme de ruissellement d'une rivière pour une station quelconque. On peut considérer que

les débits décrivent un processus stochastique puisqu'ils varient dans le temps de façon aléatoire. Pour un niveau de base Q_{base} donné, si on ne considère que les débits de pointes Q_ν dans un intervalle arbitraire (0,t] qui excèdent ce niveau de base Q_{base}, on peut définir les excédances:

$$\xi_\nu = Q_\nu - Q_{base} \tag{2.2}$$

où $\xi_\nu > 0$ est une variable aléatoire pour $\nu = 1,2,\ldots$. Le temps d'occurrence $\tau(\nu)$ de chacune de ces excédances ξ_ν constitue également une variable aléatoire.

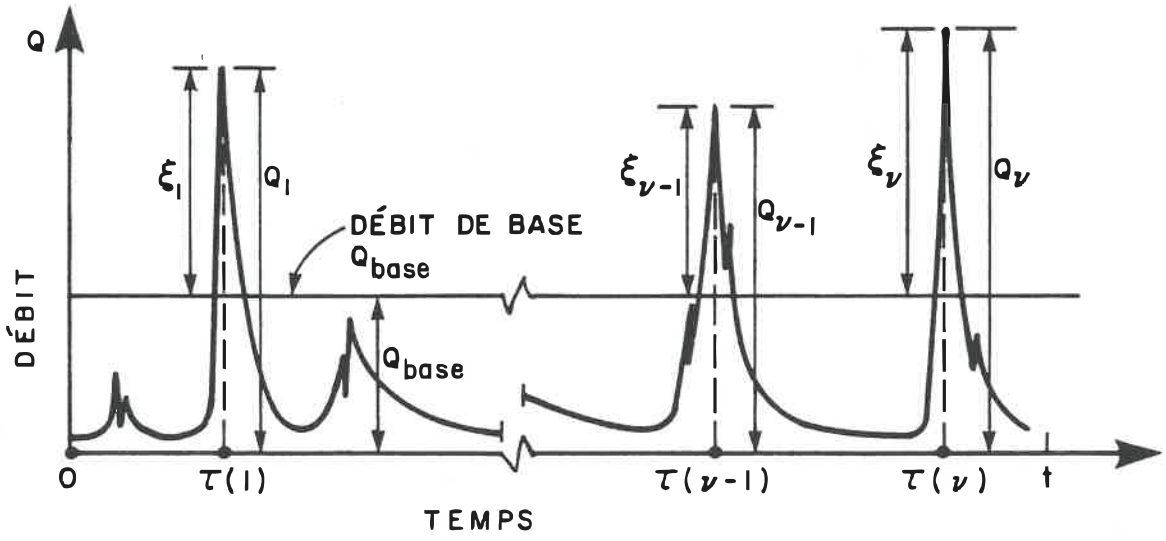


Figure 2.1 - Hydrogramme de ruissellement

Définissons le nombre d'excédances survenant dans l'intervalle de temps (0,t] par $\eta(t)$. Alors $\eta(t)$ est tel que pour n'importe quelle période de temps (0,t], $\eta(t) = 0,1,\ldots$.

L'espérance mathématique de $\eta(t)$ est définie par:

$$E\{\eta(t)\} = \lambda(t) \qquad (2.3)$$

Les amplitudes des excédances forment une séquence de variables aléatoires ξ_1, ξ_2, ..., ξ_ν. Cette série définie comme étant une série de durée partielle constitue la base du modèle d'évaluation du débit de crue.

2.4 HISTORIQUE DU MODELE DES EXCEDANCES

En se basant sur la théorie des sommes d'un nombre aléatoire de variables aléatoires, Shane et Lynn (1964) ont utilisé l'approche des séries de durée partielle afin de développer la fonction de distribution de l'occurrence des pointes supérieures à un certain niveau de base, selon l'hypothèse que le nombre d'événements survenant dans un certain intervalle de temps (0,t] est un processus de Poisson homogène dans le temps et que l'amplitude des débits de pointe Q_ν suit une distribution exponentielle. Afin de simplifier le problème, Shane et Lynn (1964) posent l'hypothèse que les ξ_i sont indépendantes et identiquement distribuées. Cette hypothèse implique que la distribution de probabilité associée à l'amplitude des événements est la même pour tous les événements et que l'amplitude d'un événement particulier est indépendante de l'amplitude de tous les autres événements.

Une forme générale pour la fonction de distribution de l'excédance maximale annuelle $\chi(t)$ définie par:

$$\chi(t) = \sup_{\tau(\nu)\leq t} \xi_\nu \qquad (2.4)$$

a été développée par Todorovic (1970) en terme de distribution conjointe de $\eta(t)$ et de $\chi(t)$. Considérant les développements réalisés par Todorovic (1970), Todorovic et Zelenhasic (1970) ont par la suite développé la fonction de distribution du nombre d'excédances selon l'hypothèse que ce nombre suit un processus de Poisson non-homogène. L'hypothèse d'homogénéité de la distribution de Poisson est effectivement incohérente avec le patron saisonnier des écoulements; il est plus raisonnable de supposer que le processus temporel existe durant l'année lorsque les crues sont plus susceptibles d'être générées par un certain processus (Waylen, 1985). Ils soulignaient également la nécessité de considérer non seulement la fréquence des événements mais également les amplitudes correspondantes. Après avoir établi que la distribution exponentielle ajustait adéquatement l'amplitude des excédances dans plusieurs cas, ils ont dérivé la distribution de l'amplitude de $\chi(t)$ en posant les hypothèses suivantes:

i) (ξ_ν) est une séquence de variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées avec:

$$H(x) = P\,[\xi_\nu \leq x] \qquad (2.5)$$

ii) (ξ_ν) et $(\tau(\nu))$ sont des séquences mutuellement indépendantes.

Todorovic et Rousselle (1971) ont généralisé les résultats obtenus par Todorovic et Zelenhasic (1970) en faisant ressortir que pour un intervalle de temps égal à une année, l'hypothèse voulant que les excédances soient identiquement distribuées n'est pas physiquement plausible puisque les différents types d'averses peuvent conduire à différencier les caractéristiques de crue d'une saison à l'autre. Ils ont donc dérivé une fonction de distribution pour la crue maximale $\chi(t)$ en considérant le cas où deux fonctions de distribution différentes des excédances ou plus survenaient à l'intérieur d'un intervalle de temps. Les auteurs supposent que la séquence $(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_\nu)$ est indépendante de $\tau(\nu)$ et $\tau(\nu+1)$, pour $\nu = 1,2,\ldots$, et que les excédances $\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_\nu$ sont des variables mutuellement indépendantes.

Si on considère que les excédances $\xi_{k\nu}$, $\nu=1,2,\ldots$ survenant à l'intérieur d'une saison k possèdent une fonction de distribution commune, on a:

$$H_k(x) = P\{\xi_{k\nu} \leq x\} \tag{2.6}$$

Considérons une séquence d'intervalle de temps $(0,T_1]$, $(T_1,T_2]$, ..., $(T_{k-1},T_k]$,... , où $0 < T_1 < T_2 < \ldots$. On dénote par:

$$\chi_k^* = \chi(T_{k-1},T_k) \qquad k=1,2,\ldots \text{ et } T_0=0 \tag{2.7}$$

la plus grande excédance dans l'intervalle $(T_{k-1},T_k]$; plus particulièrement, si $T_{k-1} < t \leq T_k$, on écrit:

$$\chi_k^*(t) = \chi(T_{k-1},t) \tag{2.8}$$

L'excédance maximale $\chi(t)$ dans l'intervalle (0,t] est alors donnée par:

$$\chi(t) = \sup \{ \chi_1^*, \chi_2^*, \ldots, \chi_{k-1}^*, \chi_k^*(t) \} \qquad (2.9)$$

La fonction de distribution de $\chi(t)$ est égale à:

$$F_t(x) = P \{ \chi(t) \leq x \} \qquad (2.10)$$

et

$$F_t(x) = P \{ \chi_1^* \leq x, \ldots, \chi_{k-1}^* \leq x, \chi_k^*(t) \leq x \} \qquad (2.11)$$

En supposant que:

$$H_k(x) = 1 - \exp \{-\beta_k x\} \qquad (2.12)$$

fonction de distribution exponentielle, on obtient (Rousselle, 1972):

$$F_t(x) = \exp \{ \sum_{g=1}^{k-1} [\lambda(T_g) - \lambda(T_{g-1})] \exp\{-\beta_g x\} - [\lambda(t) - \lambda(T_{k-1})] \exp\{-\beta_k x\} \} \qquad (2.13)$$

Le paramètre $\lambda(T_i)$ est estimé à l'aide du nombre moyen d'excédances survenues entre t=0 à T_i, alors que le paramètre β_i est estimé par l'inverse de la moyenne des excédances survenues durant la saison i:

$$\beta_i = 1 / \bar{\xi}_i \qquad (2.14)$$

Todorovic et Rousselle (1971) ainsi que Rousselle (1972) ont ensuite appliqué cette méthode en divisant l'année en quatre périodes discrètes (printemps-été-automne-hiver) et en supposant l'homogénéité à l'intérieur de chacune des périodes. En général, les valeurs prédites s'ajustent bien aux valeurs observées mais ce procédé conduit toutefois à des discontinuités dans les prédictions, à la sélection arbitraire des saisons d'un point de vue hydrologique et généralement, à la réduction de la taille de l'échantillon sur lequel les paramètres sont estimés.

Todorovic et Woolhiser (1972), en se basant sur les mêmes hypothèses que Todorovic et Zelenhasic (1970), ont dérivé la fonction de distribution du temps d'occurrence T(t) de la pointe maximale $\chi(t)$. Gupta et al. (1976) ont étendu les travaux de Todorovic et Woolhiser (1972) afin d'obtenir une expression exacte pour la fonction de distribution conjointe de la plus large amplitude $\chi(t)$ et de son temps d'occurrence T(t) à l'intérieur d'un intervalle donné. Todorovic (1978) a généralisé ces résultats en développant un modèle pour la distribution de $\chi(t)$ pouvant représenter les variations saisonnières en supposant que la distribution des excédances dépend de leur temps d'occurrence. North (1980) a dérivé la distribution de $\chi(t)$ d'après l'hypothèse que les $\{\xi_i\}$ forment une séquence de variables aléatoires mutuellement indépendantes dont la distribution dépend du temps d'occurrence. Il a évalué les variations temporelles des paramètres observés par des fonctions empiriques. Quoique ces méthodes conduisent généralement à un ajustement adéquat des données, les fonctions deviennent encombrantes et sans signification physique. Ces modèles sont qualifiés de modèles continus, alors qu'un modèle tel que proposé par Todorovic et Rousselle (1971) est qualifié de modèle discret.

Versace et al. (1982) distinguent les trois types de modèles suivants:

i) Modèle A : ξ_i suit une distribution exponentielle,
$\eta(t)$ est distribué selon une loi de Poisson non-homogène;

ii) Modèle B : ξ_i suit une distribution qui dépend du temps;

iii) Modèle C : ξ_i suit une distribution exponentielle mixte, où chacune des populations est modélisée individuellement.

Les auteurs concluent à la supériorité du modèle C pour son meilleur ajustement, sa meilleure compréhension physique, ainsi que pour le nombre inférieur de paramètres requis.

On remarque que dans les articles cités précédemment, les hypothèses sur lesquelles sont construits les modèles sont habituellement de nature mathématique et dans la majorité des cas, ne représentent pas avec précision la nature physique du phénomène à modéliser. D'ailleurs, aucun de ces travaux ne considère les mécanismes qui génèrent les crues. Les auteurs qui suivent considèrent ces mécanismes lors de l'élaboration des modèles.

Kavvas et Delleur (1975,1981) ainsi que Gupta et Waymire (1979) ont étudié les propriétés temporelles et spatiales des précipitations. Leurs résultats démontrent que les mécanismes qui génèrent les crues causent un phénomène de regroupement des précipitations. Ces dernières étant la principale source de ruissellement, la séquence de débit sera donc affectée elle aussi par ce phénomène de regroupement. Kavvas (1980) a étudié le phénomène de regroupement des séquences de débit et a présenté un 'trigger model' dans lequel les mécanismes qui génèrent les écoulements sont considérés comme étant au centre du

regroupement des pointes de débit et sont étudiés dans le même plan que les écoulements. Le modèle bidimensionnel obtenu par Kavvas (1982a,b) à été généralisé par Cervantes et al. (1983).

Waylen et Woo (1982,1983a,1983c) ont pour leur part examiné le problème de distributions mixtes. Ils soulignent que lorsque plusieurs processus générateurs interviennent, les crues peuvent être considérées comme appartenant à des populations indépendantes ayant des caractéristiques statistiques différentes. Chacune des populations peut être ajustée par une distribution individuelle. Dans le cas où les crues seraient générées par deux mécanismes, ou phénomènes distincts, la distribution annuelle des crues F_T peut s'exprimer par:

$$P\,[\chi(t) \leq x] = P\,[\chi_1 \leq x] * P\,[\chi_2 \leq x] \qquad (2.15)$$

$$F_T(x) = F_1(x) * F_2(x)$$

où χ_1 : excédance maximale annuelle générée par le premier mécanisme;

χ_2 : excédance maximale annuelle générée par le second mécanisme;

F_1 : fonction de distribution associée au premier mécanisme;

F_2 : fonction de distribution associée au second mécanisme.

Si on applique le modèle des excédances, on obtient:

$$F_i(x) = \exp\{ -\lambda_i \exp\{-\beta_i x\} \} \qquad (2.16)$$

où λ_i : nombre moyen d'excédances associé au $i_{ième}$ mécanisme;

β_i : 1 / moyenne des amplitudes des excédances générées par le $i_{ième}$ mécanisme générateur.

Ainsi,

$$F_T(x) = P[\chi(t) \leq x] = \exp\{-\lambda_1 \exp\{-\beta_1 x\}\} * \exp\{-\lambda_2 \exp\{-\beta_2 x\}\} \quad (2.17)$$

d'où

$$F_T(x) = P[\chi(t) \leq x] = \exp\{\{-\lambda_1 \exp\{-\beta_1 x\}\} + \{-\lambda_2 \exp\{-\beta_2 x\}\} \quad (2.18)$$

On retrouve ainsi la relation utilisée par Todorovic et Rousselle (1971) ainsi que par Rousselle (1972) (éq. 2.13). En fait, l'élément de distinction entre ces deux approches est rattaché à la méthode utilisée pour diviser l'échantillon de données en sous-échantillons homogènes et non dans le calcul des fréquences en lui-même. Todorovic et Rousselle (1971) découpent suivant les saisons qu'ils supposent homogènes, alors que Waylen et Woo (1982, 1983c) découpent suivant les phénomènes générateurs en cause. Waylen et Woo (1983a) ont pour leur part isolé les phénomènes générateurs à l'intérieur de périodes de temps discrètes.

D'autres auteurs (Durrant, 1959; Slivitzky, 1966; Bruce et Clark, 1966) avaient déjà souligné le besoin de séparer en différentes populations les excédances générées par différentes sources. Stoddart et Watt(1970) et par la suite Watt et Stoddart (1971) séparent les excédances des bassins de taille intermédiaire du sud de l'Ontario, en deux populations distinctes: celles reliées à un apport de précipitation et celles reliées à un apport de fonte. Chacun des deux phénomènes étant distribués indépendamment, on obtient:

$$T = \frac{T_1 * T_2}{T_1 + T_2 - 1} \qquad (2.19)$$

où dans ce cas-ci, T_1 correspond au temps de récurrence associé au premier phénomène (ou première saison) et T_2 correspond au temps de récurrence associé au second phénomène (ou seconde saison). Cette relation est équivalente aux modèles de Todorovic et Rousselle (1971) ainsi que Waylen et Woo (1983b, 1983c) dans le cas où seulement deux saisons ou phénomènes seraient considérés.

Chacun des modèles décrits précédemment présente des qualités et des faiblesses mais puisqu'un des objectifs de cette étude consiste à améliorer la connaissance physique du phénomène de crue, nous aurons tendance à utiliser un modèle de type discret tel qu'utilisé par Todorovic et Rousselle (1971), Rousselle (1972) ou encore Waylen et Woo (1983b, 1983c).

2.5 ETUDE DE L'ASPECT SAISONNIER DES CRUES

La section précédente présentait diverses approches pour modéliser l'amplitude de la crue maximale. Certaines de ces approches exigent au préalable, qu'une analyse du caractère saisonnier de la série de crues soit faite, que ce soit pour découper l'année en saisons hydrologiques homogènes (Todorovic et Rousselle, 1971; Rousselle, 1972) ou encore pour diviser l'échantillon en populations homogènes (Waylen et Woo, 1983b et 1983c).

A l'intérieur de cette section, différentes approches visant l'étude du caractère saisonnier des crues seront brièvement exposées. Comme notre étude vise avant tout un découpage rationnel des saisons hydrologiques, ou encore la division de l'échantillon de données en populations homogènes, en vue d'améliorer la fiabilité des prévisions associées à l'analyse de fréquence, c'est dans cette optique que les diverses approches seront considérées. Les deux principales approches qu'on retrouve dans la littérature consistent à:

i) une analyse de la série de crues;

ii) une analyse basée sur l'étude des phénomènes qui génèrent les crues.

2.5.1 Approches basées sur l'analyse de la série de crues

Archer (1981)

Archer considère que bien qu'une crue puisse survenir n'importe quand dans l'année, il existe une variabilité marquée dans le risque d'occurrence. Pour différents niveaux de base associés à des périodes de récurrence données, il calcule le pourcentage d'excédances survenant chaque mois par rapport au nombre total annuel. Selon l'auteur, en se basant sur cette analyse, l'amplitude des crues survenant avec un risque donné durant une période spécifique peut être déterminée.

Ashkar et Rousselle (1985)

Les auteurs proposent une méthode graphique permettant de réaliser un découpage saisonnier. Pour une station donnée, une courbe représentant le nombre moyen d'excédances $\lambda(t)$ dans l'intervalle $(0,t]$ en fonction du temps est traçée pour différents niveaux de base. La figure 2.2 présente un exemple des courbes obtenues dans cette étude.

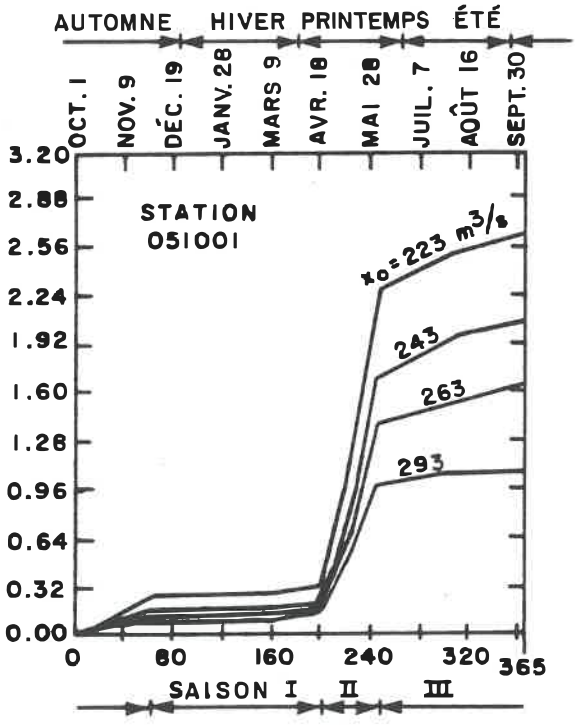


Figure 2.2 - Graphe du nombre moyen annuel d'excédances en fonction du temps (Ashkar et Rousselle, 1985)

L'année est divisée en n saisons. Les sections à pente constante ont une signification importante. Elles indiquent qu'à l'intérieur des saisons, la distribution de l'occurrence des événements est homogène. Les auteurs considèrent que ceci peut signifier que les amplitudes des crues sont identiquement distribuées à l'intérieur de chacune des saisons.

2.5.2 Approches basées sur les phénomènes générateurs de crues

Waylen et Woo (1982, 1983a, 1983c) , Woo et Waylen (1983)

Ces auteurs ont dévié de la simple division saisonnière d'une série de crues en observant la différence entre les crues générées par la pluie et par la fonte des neiges afin d'étudier le problème de distributions mixtes des données hydrologiques. Suivant cette approche physique portant sur les processus climatiques responsables des crues dans le sud-ouest de la Colombie-Britannique (Waylen et Woo, 1982, 1983a, 1983b, 1983c) ainsi que dans le nord de l'Ontario (Woo et Waylen, 1983), ils sont parvenus à subdiviser la série de crues en deux populations distinctes, l'une générée par la pluie et l'autre par la fonte des neiges. Chacune de ces deux populations était modélisée séparément par une distribution simple de Gumbel pour les maximums annuels (Waylen et Woo, 1982; Woo et Waylen, 1983) ou selon le modèle des excédances par une distribution exponentielle (Waylen et Woo, 1983c).

Les auteurs considèrent la précipitation antécédente comme un critère utile pour différencier les processus générateurs de crues. Le nombre de jours pour lequel la précipitation antécédente est considérée dépend de la région, de la taille des bassins et de la capacité d'emmagasinement (Woo et Waylen, 1983).

Hirschboeck (1985)

Hirschboeck souligne l'importance de considérer le climat puisqu'il constitue une source de variabilité, de non-stationnarité et de non-homogénéité dans les régimes d'écoulement. Les hypothèses de base de la plupart des méthodes d'analyse des séries chronologiques n'étant dès lors pas respectées. L'auteur propose donc une approche 'hydroclimatique' qui permet de relier l'approche déterministe à l'approche stochastique. Rappelons que suivant l'approche déterministe, la crue est un phénomène physique résultant d'un apport de précipitation sur un bassin de drainage; l'amplitude de la crue varie selon la nature de la précipitation et du bassin de drainage. L'approche stochastique, pour sa part, manipule les caractéristiques statistiques des variables hydrologiques pour résoudre un problème hydrologique en se basant sur les propriétés stochastiques des variables. Hirschboeck argumente en soulignant que l'approche stochastique converge vers l'analyse de la série hydrologique temporelle et semble éliminer le besoin d'étudier les événements hydrologiques de n'importe quelle

nature, d'un point de vue déterministe, spécialement en terme d'origine climatique des événements. L'appoche 'hydroclimatique', pour sa part, lorsqu'elle est appliquée à l'analyse des séries temporelles d'écoulement, permet d'interpréter chaque événement hydrologique en terme de son origine climatique.

La méthodologie, appliquée au bassin de la rivière Gila en Arizona, consiste en premier lieu à identifier les causes climatiques d'occurrence de chacune des crues et à définir un patron climatologique qui régit les écoulements. Les résultats basés sur la compréhension physique de la nature de la variabilité des crues sont ensuite utilisés pour réévaluer certaines propriétés statistiques des séries temporelles de crues et explorer quelques hypothèses de base dans l'analyse probabiliste traditionnelle de fréquence de crue.

Les résultats qui ressortent de cette étude 'hydroclimatique' suggèrent que les hypothèses de base portant sur l'analyse de fréquence traditionnelle ne sont plus respectées et que l'information recueillie sur les sources 'hydroclimatiques' qui provoquent les crues, lorsqu'elle est introduite dans l'analyse, fournit une base physique servant à démarrer l'analyse des séries de crue.

Hirschboeck affirme que le modèle homogène n'est pas physiquement valide si on considère les processus variés qui occasionnent tel type de pluie. Ce modèle (figure 2.3) considère qu'à chaque temps t, la distribution théorique est identique avec une moyenne et une variance constantes tout au long de la série. Des modèles alternatifs sont alors proposés. L'auteure conclut que le modèle illustré à la figure 2.4 convient probablement mieux au bassin de la rivière Gila.

2.5.3 Autres approches

Haltiner (1985)

Haltiner utilise les modèles de type Box-Jenkins pour modéliser l'écoulement en rivière à deux niveaux: à court terme (journalier) et saisonnier (mensuel, bimensuel,...). Deux méthodes pour l'estimation des paramètres saisonniers sont comparées. L'auteur ne fait pas véritablement d'analyse de fréquence mais suggère l'emploi de techniques pour générer des données afin de simuler de nombreuses combinaisons possibles de variables météorologiques sur une période de plusieurs semaines. Une distribution de probabilité pourrait ainsi être obtenue pour les débits futurs.

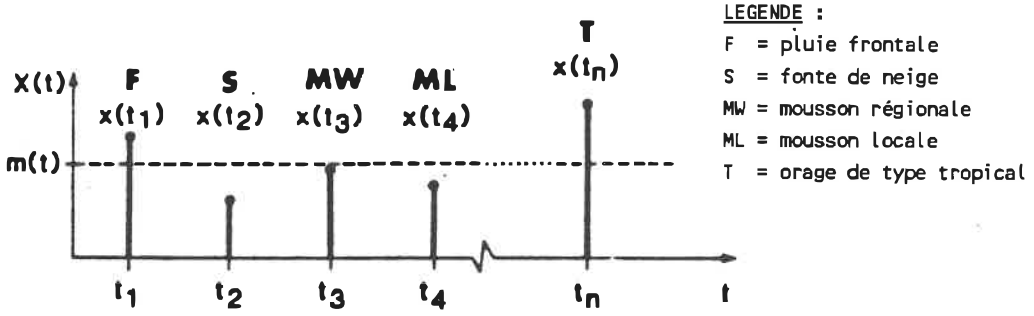


Figure 2.3a - Séries des débits de crues observés

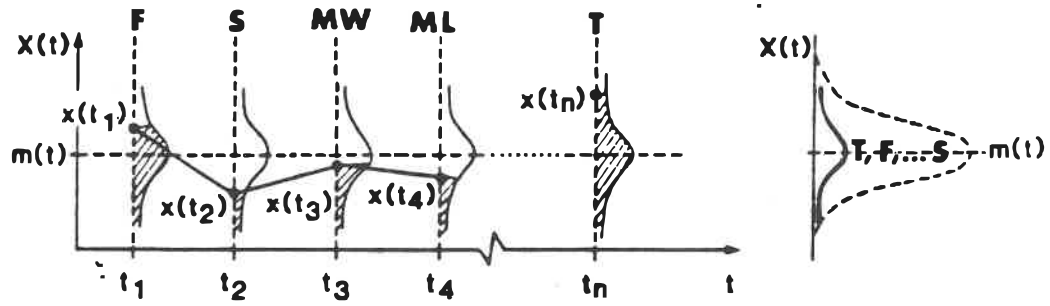


Figure 2.3b - Processus stationnaire avec les différents mécanismes générateurs

Figure 2.3 - Généralisation d'une classification hydroclimatique des débits de crue (Hirschboeck, 1985)

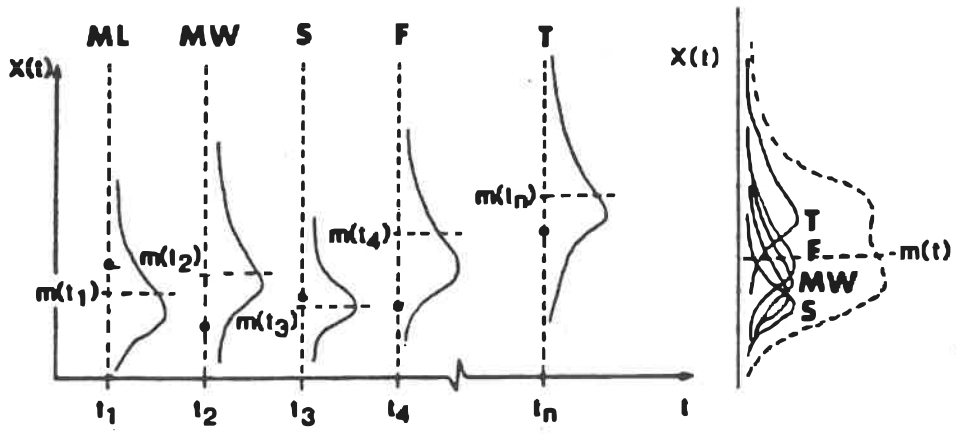


Figure 2.4 - Modèle hydroclimatique avec distributions asymétriques dont les moyennes et les variances varient dans le temps (Hirschboeck, 1985)

Harvey (1971)

Cet auteur traite des variations saisonnières des propriétés du ruissellement de surface. La méthode de l'hydrogramme unitaire est appliquée. L'auteur se base sur le principe voulant que l'hydrogramme unitaire étant concerné par la distribution du débit dans le temps, il fournit un moyen simple d'exprimer les caractéristiques du ruissellement d'un bassin versant. Les résultats démontrent qu'il existe deux types distincts de crues simples pour la rivière Ter en Angleterre, chacun survenant dans une période distincte de l'année.

Lamberti et Pilati (1985)

Ces auteurs étudient l'influence de la saisonnalité sur la distribution de probabilité des débits extrêmes. Leur démarche consiste à diviser l'année en 12 périodes (les 12 mois de l'année). Le débit maximum de chaque mois est retenu pour chacune des années. Trois différents types de fonction de distribution des maximums mensuels sont alors étudiés: Gumbel, valeurs extrêmes généralisées et exponentielle.

D'après les résultats obtenus, les auteurs concluent que l'analyse des maximums saisonniers ne semble pas être utile pour l'amélioration de la valeur des estimations relatives aux

événements les plus rares. En effet, l'information supplémentaire ainsi disponible, soit les débits maximums mensuels, appartient au champs des débits modérés comparativement aux maximums annuels. Ces débits engendrent plus de bruit que d'information et provoquent souvent des erreurs importantes d'estimation.

Brater et al.(1974)

Brater et al. considèrent que la fréquence des réponses dépend de la fréquence des entrées. Tous les éléments d'entrée étant saisonniers, il est nécessaire de déterminer les probabilités des précipitations et des crues séparément pour les différentes saisons et ensuite de combiner ces probabilités pour établir les probabilités et fréquences actuelles des crues.

Dans cette étude, une analyse de fréquence est réalisée pour les précipitations d'été, ainsi que pour les cas combinés de pluie et de fonte de neige plutôt que ceux de pluie concommitante à des précipitations de neige qui sont habituellement considérés pour l'hiver. Les auteurs étudient l'impact de la saisonnalité sur la fréquence des entrées seulement en soulignant que la méthode pour déterminer la forme de l'hydrogramme de ruissellement de surface est indépendante des saisons.

Dalinsky (1970)

Après avoir présenté et critiqué les approches conventionnelles, l'auteur suggère de baser l'analyse de fréquence sur une analyse régionale de précipitations de manière à tenir compte de la nature physique du ruissellement de surface.

2.5.4 Discussion

Archer (1981) présente une méthode qui permet de visualiser à la fois à quel moment de l'année se situent les crues les plus importantes de même que les mois où l'on retrouve le plus grand pourcentage de crues. Ces éléments sont importants à connaître lors du découpage saisonnier. Nous proposerons cependant au chapitre suivant, une façon différente de présenter ces éléments de manière à fournir une information plus complète du phénomène et plus facile à interpréter.

Ashkar et Rousselle (1985) effectuent un découpage en posant l'hypothèse que pour les périodes à l'intérieur desquelles la distribution de l'occurrence des événements est homogène, on peut supposer que les amplitudes des crues sont identiquement distribuées. Intuitivement, cette hypothèse semble justifiée à la condition qu'un seul processus génère les crues à l'intérieur de la

période concernée. Cette méthode peut donc être utilisée sous cette réserve.

Les procédures utilisées par Waylen et Woo (1982, 1983a, 1983b et 1983c), Woo et Waylen(1983) et Hirschboeck (1985) permettent de diviser l'échantillon non-homogène en populations homogènes selon les phénomènes générateurs. Hirschboeck (1985) se base sur une approche théorique détaillée pour identifier chacun des phénomènes générateurs; elle en dénombre huit différents. Malheureusement, la méthode utilisée est beaucoup trop laborieuse pour être applicable en pratique, et encore moins dans le cadre de la présente étude, où plus d'une centaine de stations doivent être traitées. Cependant, tout comme Hirschboeck, nous croyons que l'usage de l'information climatique pour l'analyse des distributions mixtes et des populations multiples des séries temporelles hydrologiques a un grand potentiel pour améliorer l'estimation des crues et rehausser la compréhension du processus d'inondation. C'est pourquoi la méthodologie que nous adopterons à ce niveau, ressemblera davantage à celle utilisée par Waylen et Woo (1982, 1983a, 1983b et 1983c). Cette méthode, quoique fondée sur les mêmes principes de base que Hirschboeck (1985), est de beaucoup simplifiée.

Parmi les autres approches, peu d'éléments ont été retenus, mis à part certaines considérations de base. La méthode proposée par Haltiner (1985) ne peut conduire à une analyse de fréquence

suivant le modèle des excédances, de plus elle n'ajoute rien à la compréhension physique du caractère saisonnier des crues. Harvey (1971) suggère une approche intéressante mais qui exige l'étude de l'hydrogramme de chacune des crues, ce qui est beaucoup trop laborieux lorsque plusieurs stations doivent être considérées. La division en groupe homogène manque également de rigueur car rien n'indique que deux crues présentant des hydrogrammes de ruissellement identiques appartiennent à une même population. Lamberti et Pilati (1985) concluent que l'analyse des maximums saisonniers ne semble pas être utile pour l'amélioration de la valeur des estimations, ce qui n'est guère surprenant étant donnée la division saisonnière arbitraire qu'ils ont utilisée, joint au fait que tous les maximums mensuels ont été retenus pour l'analyse. Finalement, Brater et al (1974) et Dalinsky (1970) proposent d'étudier d'abord les précipitations puisque la fréquence des réponses dépend de la fréquence des entrées. Malgré leurs intérêts, un parallèle peut difficilement être tracé entre ces méthodes et les objectifs visés dans le présent projet. De telles approches seraient plus utiles pour des bassins non jaugés.

2.6 CHOIX DU DEBIT DE BASE

Certains chercheurs (Langbein, 1949 ; Dalrymple, 1960) suggèrent que Q_{base} soit choisi de façon à ce qu'au plus, deux ou trois excédances surviennent en moyenne par année. Pour d'autres auteurs, la valeur de Q_{base} correspond à la plus petite crue annuelle enregistrée (Hirschboeck, 1985). De tels critères de sélection, quoique pratiques, ne tiennent pas compte de la signification physique de Q_{base} qui dépend en fait de l'usage prévu du modèle (dimensionnement d'une structure de crue, estimation des dommages, etc.). Un critère plus précis faisant ressortir une meilleure compréhension de la signification de Q_{base} serait nécessaire si on vise une meilleure réponse du modèle.

Dans cette étude, nous tenterons d'effectuer un choix rationnel du débit de base, sans toutefois entrer dans des considérations d'ordre physique, étant donnée l'ampleur du territoire considéré. La sélection se fera plutôt dans l'optique de respecter les hypothèses de base posées dans la théorie du modèle des excédances. Les objectifs visés consistent donc à:

i) respecter l'hypothèse voulant que les excédances soient mutuellement indépendantes;

ii) vérifier que la loi de Poisson s'ajuste adéquatement au dénombrement des crues;

iii) s'assurer que l'amplitude des excédances suit une loi exponentielle.

Signalons tout d'abord que l'indépendance des excédances sera respectée si la valeur de Q_{base} est suffisamment élevée. Par ailleurs, Ashkar et Rousselle (1983) mentionnent que si les excédances $\xi_1, \xi_2, \ldots$ au-dessus du niveau de base Q_{base} suivent une distribution exponentielle, alors les excédances $\xi'_1, \xi'_2, \ldots$ au-dessus de n'importe quel niveau Q'_{base} supérieur à Q_{base} devrait aussi suivre la même distribution exponentielle. De même, on peut prouver que si un niveau de base particulier conduit à un processus de Poisson et que les excédances ξ_i sont indépendantes, alors tous les niveaux de base supérieurs à Q_{base} conduiront également à un processus de Poisson (Todorovic, 1982 ; Ashkar et Rousselle, 1983). On devrait donc choisir un débit de base suffisamment élevé pour rendre ces lois applicables tout en conservant un échantillon représentatif.

On admet que si le nombre n d'événements survenant dans un intervalle de temps fixe mais arbitraire (0,t] suit une loi de Poisson, alors le rapport de la moyenne μ_n sur la variance σ_n^2 sera égal à l'unité. Une procédure graphique a donc été proposée par Ashkar et Rousselle (1987) pour le choix d'un débit de base Q_{base} en se basant sur ce critère d'égalité entre la moyenne et la variance de la loi de Poisson. Les auteurs sont d'accord pour affirmer que le choix de Q_{base} suivant cette méthode peut être quelque peu subjectif, mais il semble néanmoins qu'un certain degré de subjectivité puisse être toléré. Après avoir fixée la valeur de Q_{base}, l'ajustement de la loi de Poisson est finalement vérifié à l'aide du test χ^2.

La loi de Poisson n'est toutefois pas la seule distribution utilisée pour modéliser le dénombrement des crues. Parmi les autres distributions proposées dans la littérature, on retrouve la distribution binomiale négative (Miquel et Bernier, 1981), ainsi que les 'cluster models' utilisés par Kavvas (1982a,b). Ashkar et Rousselle (1987) mentionnent qu'en fait, l'avantage que présente la loi de Poisson est qu'elle permet de calculer les intervalles de confiance, pour un débit de récurrence donnée, avec moins de difficultés que les autres distributions proposées.

CHAPITRE III

METHODOLOGIE

Avant de décrire la méthodologie employée, rappelons les buts et objectifs de cette étude. Tel que mentionné antérieurement, le but premier consiste à établir des critères de saisonnalité relatifs au débits de crue, ce qui en pratique revient tout d'abord à faire ressortir les différents paramètres indiquant s'il y a nécessité ou non d'effectuer une analyse saisonnière, et de définir, le cas échéant, les paramètres utiles pour l'analyse saisonnière avec le modèle des excédances.

Au chapitre précédent, diverses méthodes, certaines rattachées à la théorie du modèle des excédances, et d'autres permettant de tenir compte de l'aspect saisonnier, ont été décrites. Pour des raisons déjà énumérées, l'attention a été davantage dirigée sur les travaux effectués par Todorovic et Rousselle (1971), Rousselle (1972), Waylen et Woo (1983c) ainsi que Ashkar et Rousselle (1985). Le modèle utilisé pour ces diverses approches demeure le même. Elles se distinguent quant à leur façon de découper l'échantillon: par découpage en périodes homogènes indépendantes définies comme saisons hydrologiques ou par découpage selon les phénomènes générateurs qu'on suppose eux aussi indépendants. Le découpage en périodes présente un avantage important qui consiste à faciliter la régionalisation des

résultats, alors que la division par phénomènes générateurs devrait être réalisée pour chaque bassin lorsque les phénomènes se superposent dans le temps. Il a toutefois été vu qu'un découpage en périodes n'est physiquement réaliste qu'à la condition de n'avoir qu'un seul processus générateur dominant à l'intérieur de chacune des périodes. La méthodologie proposée dans ce chapitre est donc basée sur ces considérations.

Il s'agit, dans un premier temps, d'identifier et de situer dans le temps les phénomènes générateurs de façon globale, selon leur occurrence dans l'année. Il devient ensuite possible d'évaluer si le découpage en périodes équivaut à un découpage selon les phénomènes générateurs. Dans chacun des cas, un découpage en périodes est réalisé en vue de pouvoir éventuellement régionaliser les résultats. Par la suite, les critères de découpages sont déterminés. Lorsque les phénomènes se chevauchent dans le temps, et si l'information météorologique est suffisamment complète, nous procédons également au découpage par phénomènes. Les résultats issus de chacune de ces deux approches peuvent enfin être comparés. Des exemples pratiques de l'application de la méthodologie seront présentés au chapitre suivant.

La méthodologie se divise en quatre étapes principales. En premier lieu, un débit de base préliminaire doit être fixé afin de pouvoir procéder à la détermination de la série de durée partielle. L'étape suivante consiste à recueillir l'information nécessaire en vue

d'effectuer un découpage rationnel de la série de durée partielle. Les hypothèses de base du modèle des excédances doivent ensuite être vérifiées avant de finalement procéder à l'analyse de fréquence. L'organigramme présenté à la figure 3.1 permet de visualiser rapidement les diverses étapes, ainsi que leurs composantes.

Signalons, pour terminer, que les outils informatiques utilisés pour traiter l'information ont pour la plupart été créés spécifiquement afin de répondre adéquatement aux besoins rattachés à cette étude. Cependant, certains sous-programmes, tirés du programme CRUE développé à l'Ecole de Génie de l'Université de Moncton dans le cadre du projet thématique, ont pu être utilisés.

3.1 CHOIX D'UN DEBIT DE BASE ET INDEPENDANCE DES EXCEDANCES

Le débit de base doit être choisi de façon à permettre à la série de durée partielle de respecter les hypothèses posées pour le modèle des excédances sur lesquelles il possède une certaine influence. Rappelons que ces hypothèses consistent à:

i) vérifier que les $\{\xi_i\}$ sont des variables aléatoires mutuellement indépendantes;

ii) vérifier que la loi de Poisson ajuste adéquatement le dénombrement des crues;

iii) vérifier que la distribution exponentielle ajuste adéquatement les amplitudes des excédances.

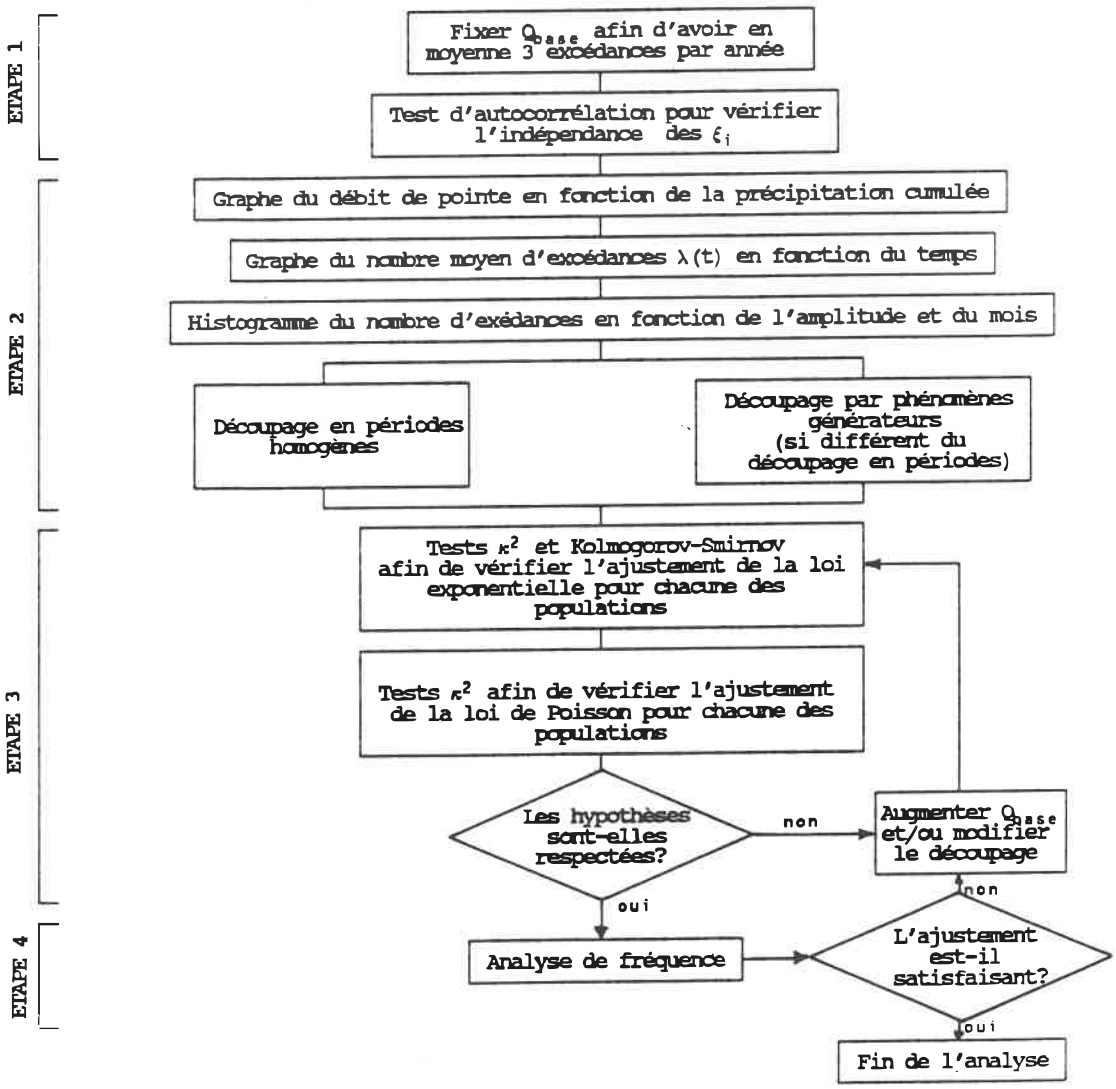


Figure 3.1 - Organigramme de la méthodologie employée

Considérant l'éventuel découpage de la série d'excédances, il est inutile de vérifier le respect des deux dernières hypothèses avant que le découpage n'ait été réalisé. Ces deux hypothèses seront plutôt vérifiées pour chacune des populations puisqu'elles seront modélisées individuellement. Par contre, l'hypothèse d'indépendance des excédances doit être vérifiée dès le départ afin de s'assurer que l'information ou une partie de l'information ne se répète pas d'une excédance à l'autre.

La série de durée partielle est établie en respectant les deux critères d'indépendance des événements définis à la section 2.3.1. Afin de ne pas limiter inutilement l'information tirée de la série de débits, une valeur minimale acceptable pour le débit de base est d'abord fixée. Cette valeur correspond au débit auquel est associée une moyenne de trois excédances par année, selon un critère établi par Langbein (1949) et Dalrymple (1960). Ces auteurs admettent qu'à ce niveau, les excédances peuvent être considérées comme étant indépendantes.

L'indépendance des excédances peut être vérifiée à l'aide du test d'autocorrélation d'Anderson (Ashkar et Bobée, 1985). Le coefficient de corrélation d'ordre 1 ($\rho(1)$) d'un échantillon de taille N peut être évalué par la relation suivante:

$$r_1 = \frac{\left[\frac{\sum_{i=1}^{N-1} x_i * x_{i+1}}{(N-1)} - \frac{(\sum_{i=1}^{N} x_i)^2}{N^2} \right]}{\left[\frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i^2)}{N} - \frac{(\sum_{i=1}^{N} x_i)^2}{N^2} \right]} \qquad (3.1)$$

On considère que pour une série temporelle aléatoire de N observations, r_1 est à peu près normallement distribué (Haan, 1977) avec une moyenne:

$$\bar{r}_1 = \frac{-1}{(N-1)} = \frac{1}{1-N} \qquad (3.2)$$

et une variance:

$$\mathrm{Var}(r_1) = \frac{(N-2)}{(N-1)^2} \qquad (3.3)$$

Ceci est valable si $\rho(1) = 0$. Les limites de non-rejet de l'hypothèse $H_0 : \rho(1) = 0$ (limites de la région "non-critique") sont alors estimées par:

$$l = (-1 - Z_{1-\alpha/2} \sqrt{N-2}) / (N-1) \qquad (3.4a)$$

$$u = (-1 + Z_{1-\alpha/2} \sqrt{N-2}) / (N-1) \qquad (3.4b)$$

où l représente la limite inférieure, u, la limite supérieure et α, le seuil de signification du test. Si la valeur de r_1 tombe à l'extérieur de la région non-critique, l'hypothèse voulant que $\rho(1)$ est nul $H_0 : \rho(1) = 0$ est rejetée en faveur de l'hypothèse alternative $H_1 : \rho(1) \neq 0$. Ce test est effectué au seuil de signification $\alpha = 0.05$. Dans l'éventualité où ce test est rejeté, le débit de base doit être augmenté.

3.2 DECOUPAGE DE LA SERIE DE DUREE PARTIELLE

3.2.1 Découpage selon les phénomènes générateurs de crues

Les phénomènes considérés seront la fonte de neige seule, les précipitations de pluie survenant en période de fonte, ainsi que les précipitations de pluie seules.

Waylen et Woo (1982) décrivent la précipitation antécédente comme étant un critère utile pour différencier les crues générées par les précipitations des crues générées par la fonte de neige. Le nombre de jours antécédents considérés est basé sur la superficie du bassin ainsi que sur sa capacité d'emmagasinement. Ils fixent un seuil arbitraire en deçà duquel les crues sont considérées comme étant dues au phénomène de fonte de neige et, au-dessus duquel elles sont considérées comme étant dues au phénomène de précipitation.

Un graphe du débit de pointe en fonction de la précipitation cumulée pour un certain nombre de jours antécédents à la pointe (figure 3.2) sera traçé pour chacune des stations hydrométriques, le nombre de jours antécédents variant selon la superficie du bassin versant. L'utilisation d'un symbole différent pour chacun des mois (les lettres A à L représentent respectivement les mois de Janvier à Décembre) permet de visualiser le chevauchement possible

entre les phénomènes. Ceci revient à évaluer si deux populations distinctes semblent prendre place à l'intérieur d'une même période. Le cas échéant, il n'est pas rationnel, à prime abord, d'effectuer un découpage en périodes, il est préférable de modéliser les phénomènes indépendants individuellement. Dans chacun des cas, nous effectuons, malgré tout, un découpage en périodes afin de visualiser jusqu'à quel point les résultats sont affectés par le type de découpage.

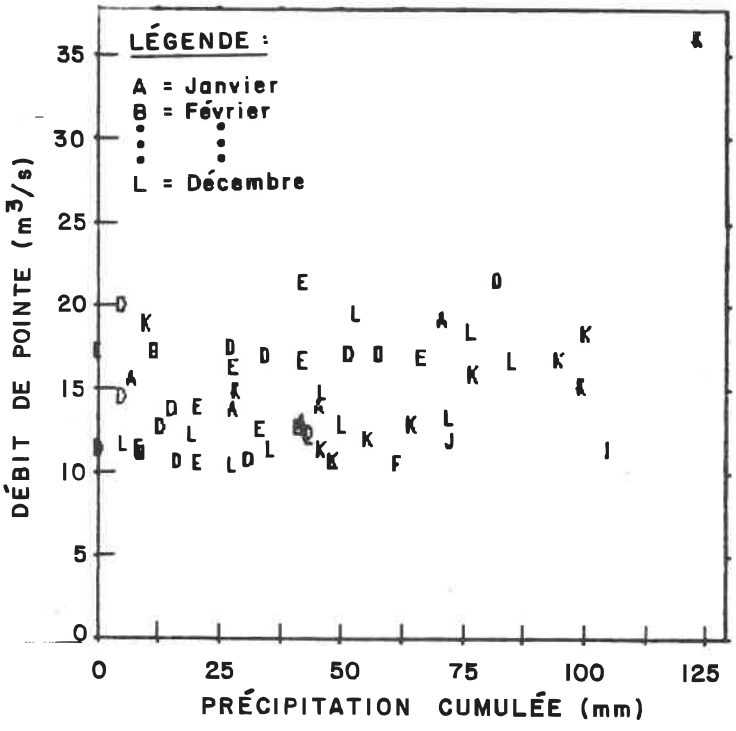


Figure 3.2 - Exemple du graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm).

Selon les caractéristique climatiques de chacune des provinces, les mécanismes générateurs pourront être identifiés ou catalogués différemment selon les processus dominants. L'Hydrologie des crues au Canada - Guide pour le calcul, du Conseil National de Recherches du Canada (CNRC, 1989) peut être une source d'information utile en ce sens, puisque les phénomènes générateurs intervenant à l'intérieur des différentes régions du Canada y sont énumérés.

3.2.2 Découpage en périodes homogènes

Le graphe du nombre moyen d'excédances $\lambda(t)$ à l'intérieur de l'intervalle $(0,t]$ en fonction du temps t, traçé pour différents débits de base (figure 3.3) a été inspiré de la méthodologie proposée par Ashkar et Rousselle (1985). Notons que le jour 0 correspond au 1er janvier. Ce graphe fournit une information détaillée sur les périodes durant lesquelles surviennent les crues. Il aide au découpage en indiquant les limites possibles des différentes périodes homogènes en ce qui concerne le dénombrement des crues. Les périodes homogènes, en ce sens, sont définies par les changements de pentes. De plus, ce graphe permet de voir si le fait d'augmenter le débit de base permet de faire ressortir certaines saisons hydrologiques qui, pour un débit de base trop élevé, étaient devenues négligeables. Ce graphe ne présente toutefois que peu d'information concernant l'amplitude des

excédances, celle-ci n'étant fournie que par les variations de l'allure des courbes lorsque Q_{base} varie. Il s'avère donc nécessaire de compléter cette information.

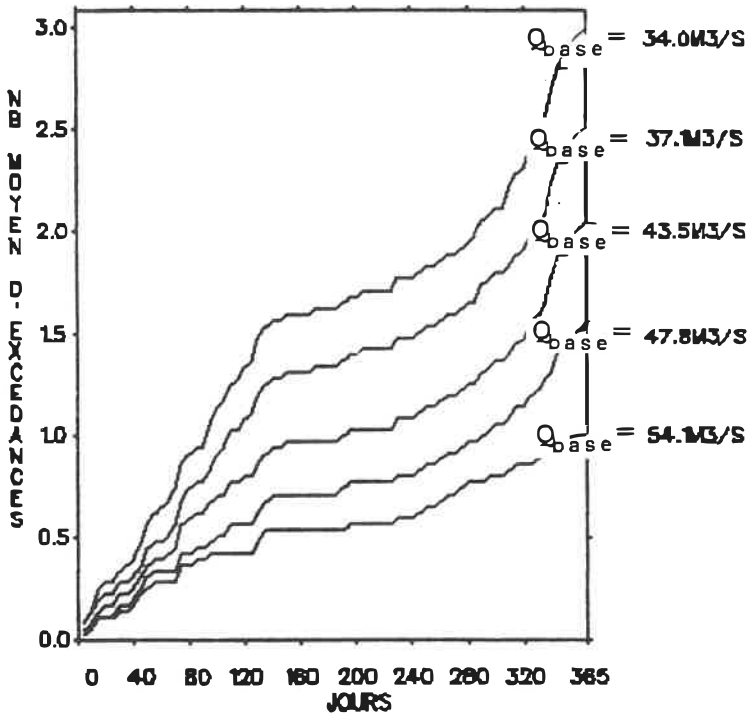


Figure 3.3 - Exemple du graphe du nombre moyen d'excédances $\lambda(t)$ en fonction du temps pour différents débits de base

Le tracé d'un histogramme représentant le nombre d'excédances en fonction de l'amplitude et du mois (figure 3.4) permet de visualiser rapidement non seulement les périodes importantes en terme de nombre de crues, mais également celles importantes en terme d'amplitude. Les périodes pour lesquelles la répartition du nombre et des amplitudes des excédances semblent homogènes, et dans lesquelles idéalement s'isole un phénomène générateur, sont

définies comme saisons hydrologiques à partir desquelles on procède au découpage de la série de durée partielle. Notons que l'effet de l'augmentation du débit de base sur le dénombrement des excédances peut également être évalué à partir de ce graphique.

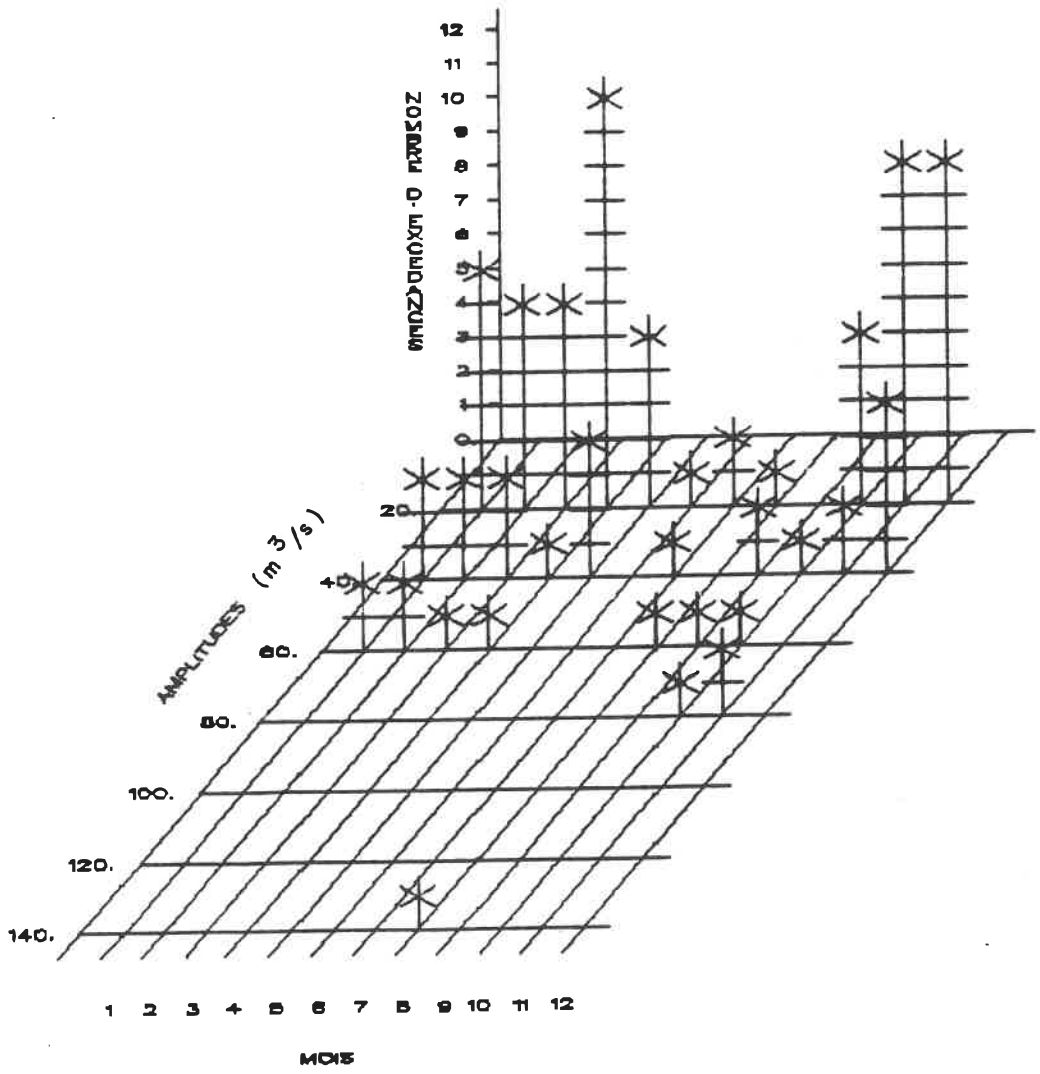


Figure 3.4 - Exemple de l'histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude et du mois

3.3 VERIFICATION DES HYPOTHESES

Avant de procéder à l'analyse de fréquence, des tests statistiques doivent être effectués afin de vérifier pour chacune des populations, si le dénombrement des excédances suit une loi de Poisson et si les amplitudes des excédances suivent une loi exponentielle. Lorsque les tests sont rejetés, un débit de base supérieur doit être fixé, dans la mesure où l'échantillon demeure représentatif. Il serait par ailleurs intéressant de vérifier l'hétérogénéité entre les populations de façon à confirmer la validité du découpage.

3.3.1 Vérification de l'ajustement de la loi de Poisson

Un test χ^2 est effectué pour chacune des populations dont le nombre d'excédances est supérieur à 15. Si tel n'est pas le cas, le nombre d'excédances est considéré insuffisant pour que le test soit significatif. L'application de ce test est tirée de Miquel (1984).

Le nombre moyen d'excédances survenant durant la saison k, λ_k, est tout d'abord calculé. On compte ensuite le nombre d'années NOB(n) pour lesquelles $\eta_k(t)$ est égal à n, pour n=0,1,2,..., NMAX, où NMAX est tel que:

$$\sum_{i=NMAX}^{\infty} NOB(i) \leq \frac{NC_k}{10} \qquad (3.5)$$

où NC_k correspond au nombre total d'excédances survenues durant la saison k, ou générées par le phénomène k, sur toute la période d'observation (NAOBS).

On calcule ensuite le nombre théorique NOT(n) de la loi de Poisson:

$$NOT(n) = \frac{NAOBS\ e^{-\lambda}\ \lambda^n}{n!} \qquad (3.6)$$

La valeur de χ^2 est donnée par:

$$\chi^2 = \sum_{n=0}^{NMAX} \left[\frac{(NOB(n) - NOT(n))^2}{NOT(n)} \right] \qquad (3.7)$$

avec (NMAX-2) degrés de liberté. Cette valeur est comparée au $\chi^2_{critique}$ fourni par les tables pour un seuil de signification $\alpha = 0.05$.

Notons que lorsqu'on applique le critère NC/10 aux lois continues avec des classes équiprobables, celui-ci est suffisamment rigoureux. Les pionniers de ce test (Cramer (1946) et Hald (1952) cités dans Benjamin et Cornell (1970)) ont suggéré entre cinq et dix excédances par classe. A prime abord, NC/10 semble être ce même critère du côté conservateur. Cependant, le critère NC/10 n'est pas respecté lorsqu'on l'applique à une loi discrète comme la loi de Poisson, et sur des classes non-équiprobables. Le critère NC/10 sera néanmoins retenu, l'expérience démontrant qu'il n'augmente pas inutilement le nombre de classes, conservant ainsi au test une rigueur suffisante.

3.3.2 Vérification de l'ajustement de la loi exponentielle

Des tests de Kolmogorov-Smirnov et de χ^2 sont effectués pour chacune des populations afin de vérifier cette hypothèse. Dans la présente étude, un minimum de cinq excédances est requis pour que le test de Kolmogorov-Smirnov soit appliqué. En ce qui concerne le test de χ^2, le nombre de classes équiprobables est défini de manière à ce qu'il y ait un minimum de cinq excédances par classes équiprobables. On exige également un minimum de trois classes équiprobables pour que le test soit significatif.

3.3.3 Vérification de l'hétérogénéité entre les populations

Parmi les articles cités précédemment traitant de l'analyse saisonnière des excédances, aucun test n'est réalisé pour démontrer l'hétérogénéité entre les populations suite au découpage. En général, les auteurs se basent sur l'ajustement de la courbe de fréquence pour témoigner de la pertinence du découpage.

En vue de démontrer l'hétérogénéité entre les populations de façon statistique, un test t est effectué sur le rapport du nombre moyen d'excédances survenues durant la saison k sur le nombre de jours total de cette saison. Cette variable correspond à la pente entre deux points de la courbe du graphe de $\lambda(t)$ en fonction de t

illustré à la figure 3.3. On cherche ainsi à vérifier si le changement de pente est statistiquement significatif.

Notons que ce test constitue une ébauche qui pourra être améliorée lors de travaux futurs. Une des faiblesses de ce test provient du fait qu'il ne tient pas compte de l'amplitude des excédances. Un changement de pente non-significatif ne démontre pas nécessairement qu'il n'y a pas hétérogénéité entre les saisons. Deux saisons peuvent en effet présenter des caractéristiques de dénombrement identiques, tout en étant significativement différentes en ce qui concerne l'amplitude des excédances. Par contre, un changement de pente significatif démontre qu'il y a effectivement hétérogénéité entre les saisons. Par ailleurs, ce test ne peut s'appliquer entre les phénomènes générateurs. La vérification de l'hétérogénéité ne fera donc pas partie intégrante des résultats présentés dans cette étude. Toutefois, l'information tirée des figures 3.3 et 3.4 témoigne amplement de la pertinence ou non d'une analyse saisonnière. Cette pertinence sera également appuyée par la qualité de l'ajustement de la courbe de fréquence.

3.4 ANALYSE DE FREQUENCE

Le calcul des fréquences rattachées aux débits se fera suivant la théorie du modèle des excédances, selon les méthodes proposées par Todorovic et Rousselle (1971) ainsi que par Waylen et Woo (1983c).

Un graphe du débit en fonction du temps de récurrence (figure 3.5) est ensuite tracé. Ce graphe présente la courbe de fréquence faisant suite au découpage saisonnier, en périodes homogènes ou selon les phénomènes générateurs, de même que la courbe de fréquence faisant suite à une analyse annuelle. On entend par analyse annuelle, l'analyse de la série de durée partielle complète, avant découpage.

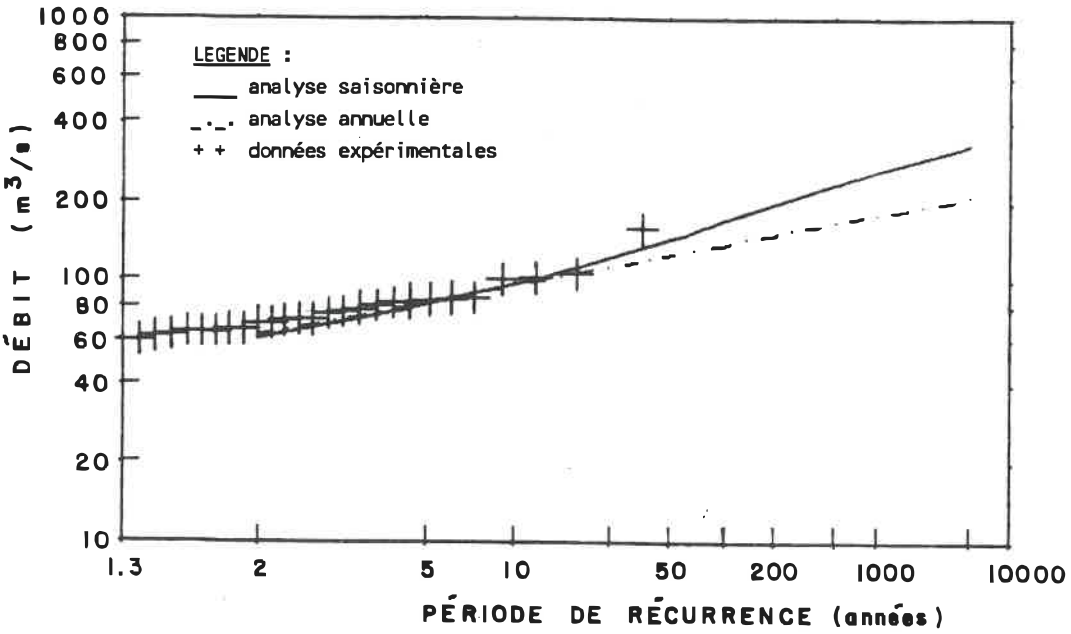


Figure 3.5 - Exemple du graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

Les points expérimentaux sont indiqués afin de vérifier visuellement la qualité de l'ajustement. Un mauvais ajustement force soit à augmenter le débit de base, soit à modifier éventuellement le découpage, soit à appliquer les deux procédures précédentes. Les fréquences expérimentales sont calculées par la formule de Weibull (Haan, 1977) :

$$F_{exp.} = \frac{\text{Rang}}{\text{Nombre d'année d'observation} + 1} \qquad (3.8)$$

les débits étant classés par ordre décroissant.

Le chapitre suivant porte sur l'application de cette méthodologie pour les différentes stations hydrométriques sélectionnées à travers le Canada. Des exemples d'application y sont décrits afin de permettre une visualisation plus complète de la méthodologie.

CHAPITRE IV

APPLICATION

La méthodologie présentée au chapitre précédent est appliquée aux débits moyens journaliers des 166 stations hydrométriques sélectionnées pour l'étude. Ces stations sont réparties sur l'ensemble du territoire canadien afin de fournir une vision globale des régions pour lesquelles l'étude du caractère saisonnier des crues modifie les résultats de l'analyse de fréquence.

Ce chapitre décrit tout d'abord les données utilisées. Trois exemples d'application sont ensuite exposés en détail. Les résultats sont finalement présentés pour chacune des régions à l'étude.

4.1 DONNEES HYDROMETRIQUES

4.1.1 Choix des stations hydrométriques

Les stations hydrométriques utilisées ont été sélectionnées parmi les 495 stations répertoriées dans la banque de données HYDROL (Boucher, 1986) développée dans le cadre du projet thématique "Modélisation statistique et régionalisation des caractéristiques de crues au Canada". La sélection s'est faite suivant deux critères:

i) toutes les stations non-régularisées présentant un minimum de 30 années d'observation sont retenues;

ii) les stations non-régularisées dont la période d'observation se situe entre 20 et 30 ans sont retenues si elles contribuent à l'amélioration de la répartition spatiale des stations sur le territoire.

Pour le Québec, certaines stations ont une période d'observation supérieure à 30 ans, mais présentent une régularisation à l'échelle journalière. L'importance de cette influence a été vérifiée auprès du ministère de l'Environnement du Québec. Il s'avère que dans la plupart des cas, la régularisation est négligeable et n'affecte que la période d'étiage. A quelques exceptions près, ces stations sont donc retenues.

Au total, 166 stations hydrométriques répondent favorablement aux critères de sélection. Le tableau 4.1 indique de quelle façon ces stations se répartissent entre les différentes provinces et territoires. Les figures 4.1 à 4.6 illustrent la localisation des stations pour les six régions concernées: les provinces maritimes, le Québec, l'Ontario, les provinces des prairies, la Colombie-Britannique ainsi que les territoires du Yukon et du Nord-Ouest. Les numéros inscrits sur ces figures sont associés aux numéros d'identification des stations aux tableaux A1 à A6 de l'annexe A.

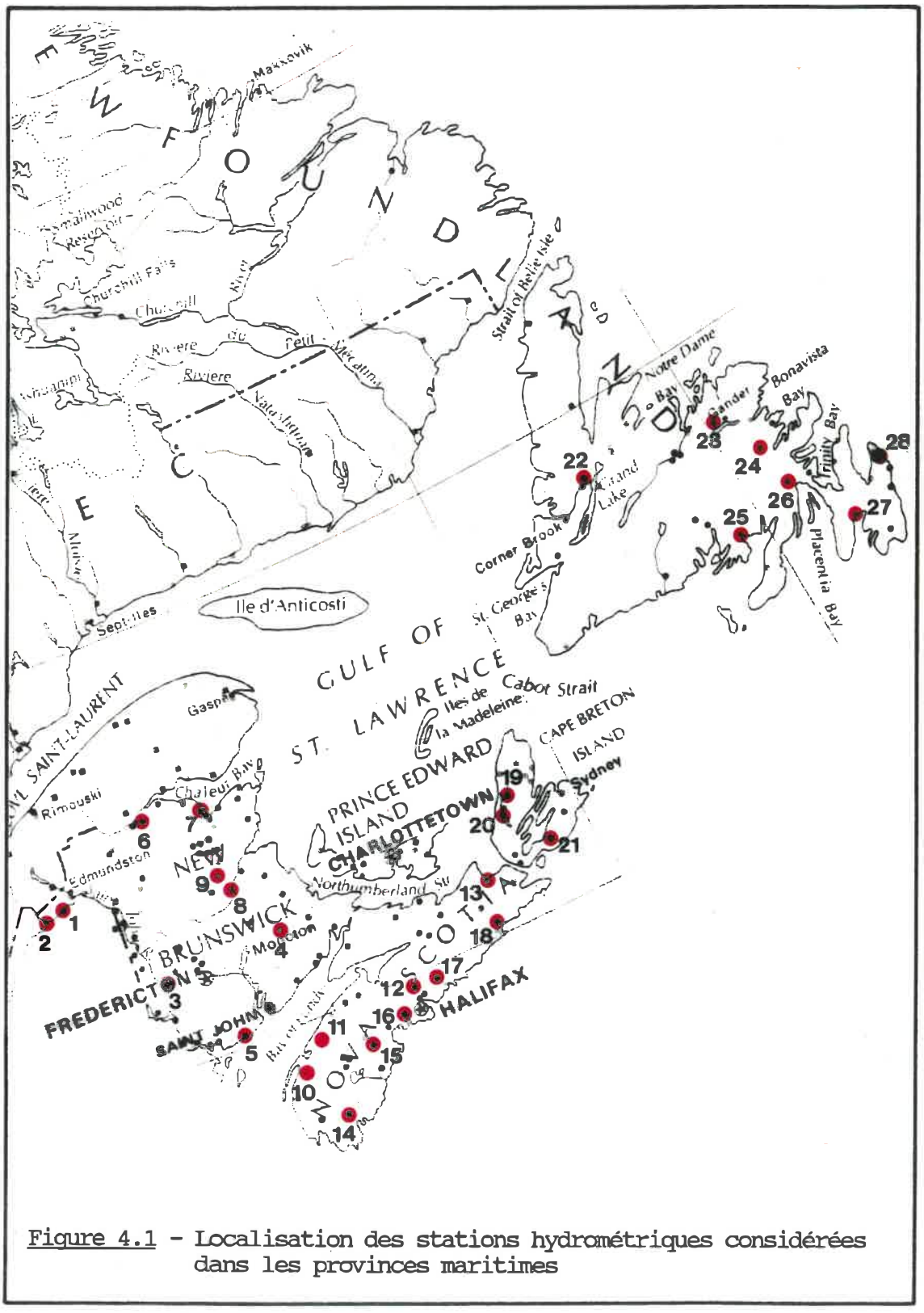


Figure 4.1 - Localisation des stations hydrométriques considérées dans les provinces maritimes

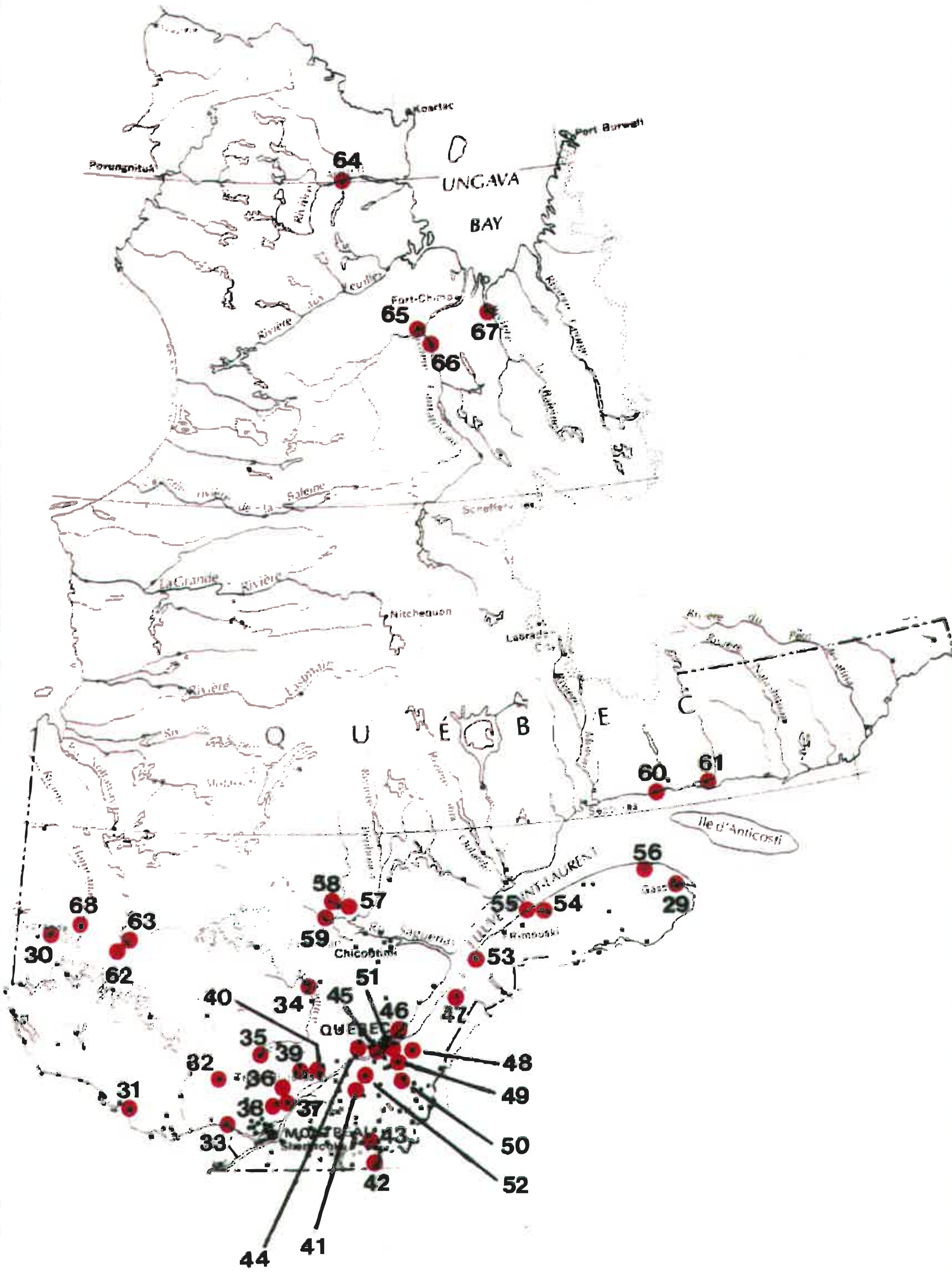


Figure 4.2 - Localisation des stations hydrométriques considérées au Québec

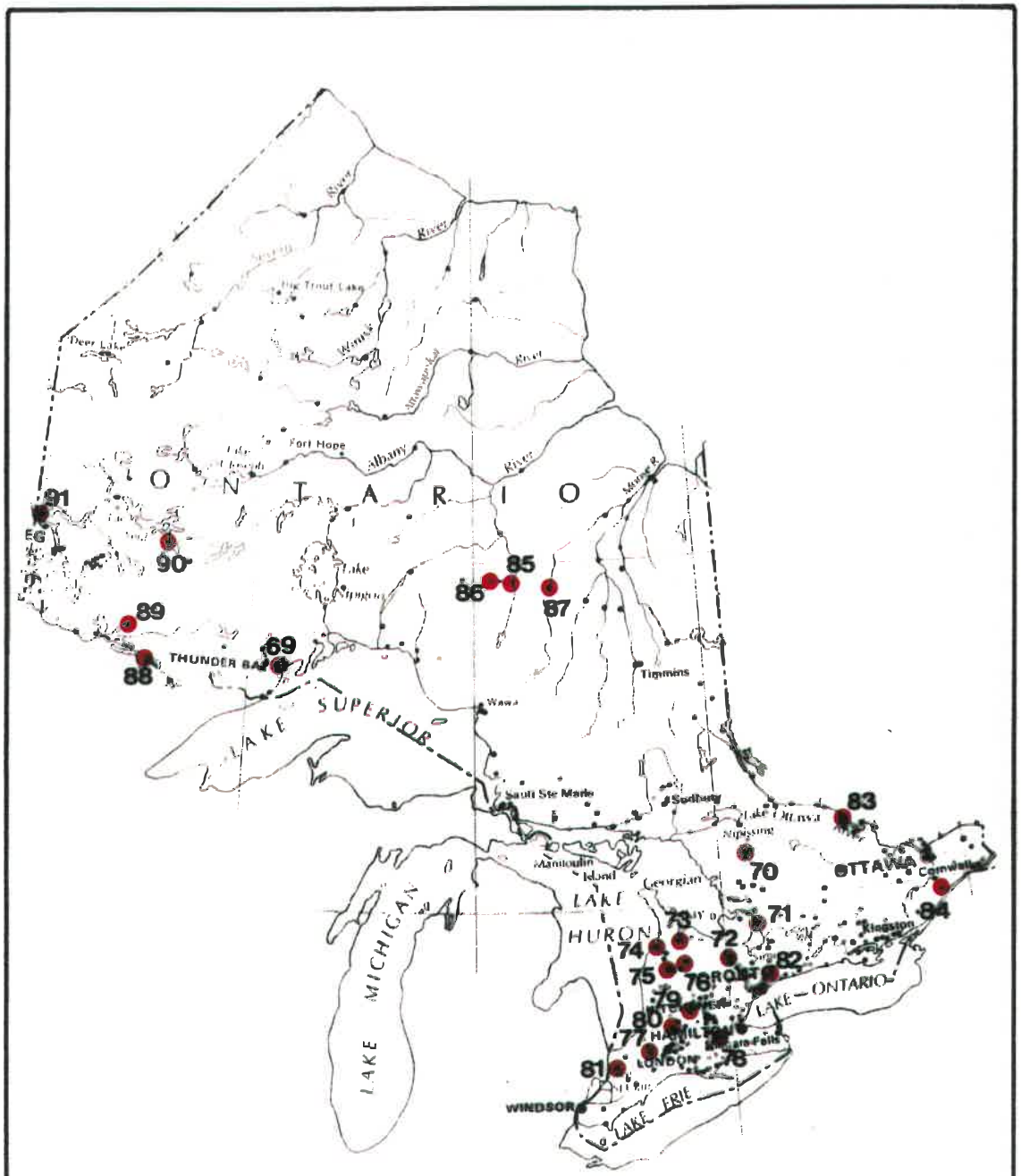


Figure 4.3 - Localisation des stations hydrométriques considérées en Ontario

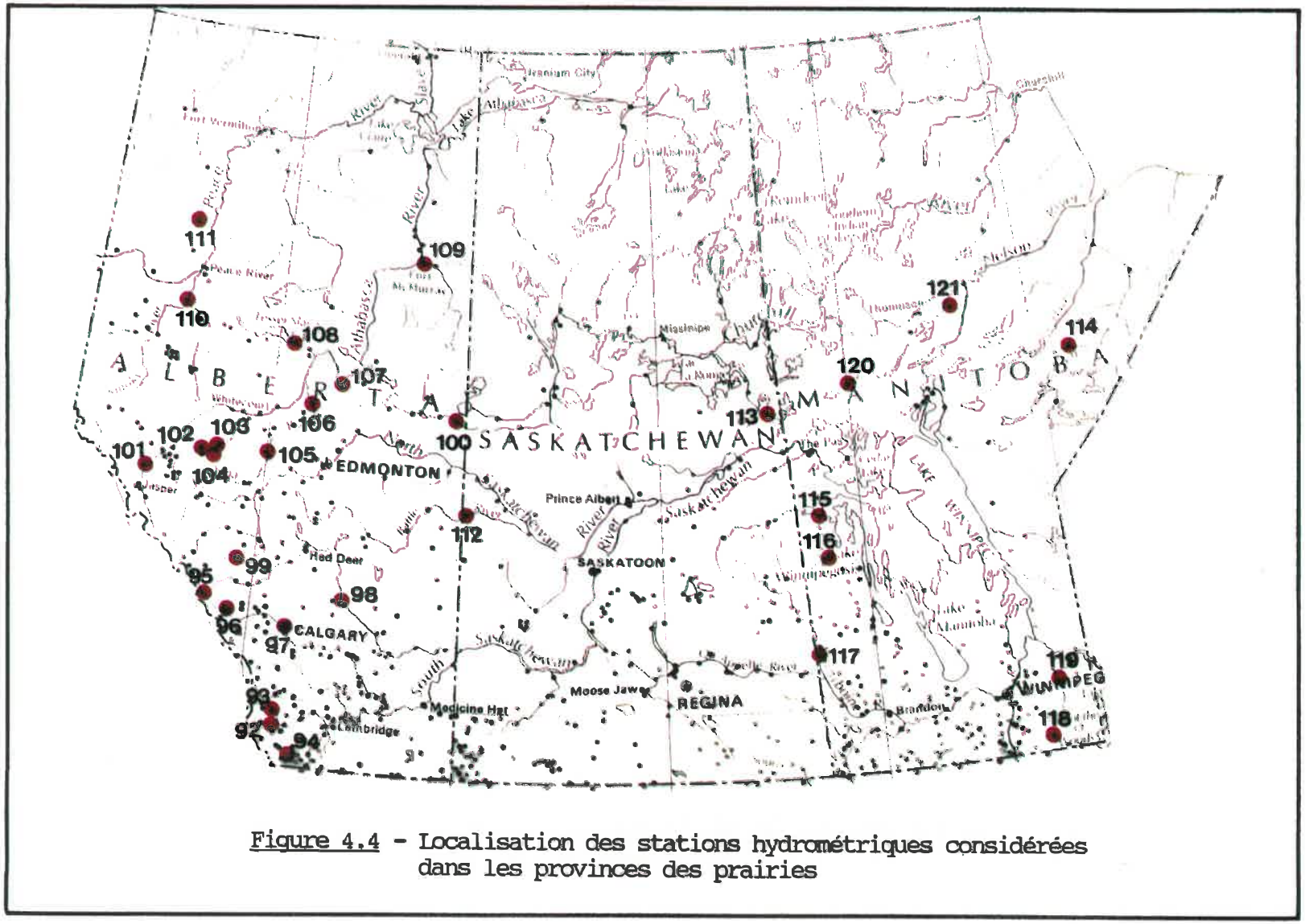


Figure 4.4 - Localisation des stations hydrométriques considérées dans les provinces des prairies

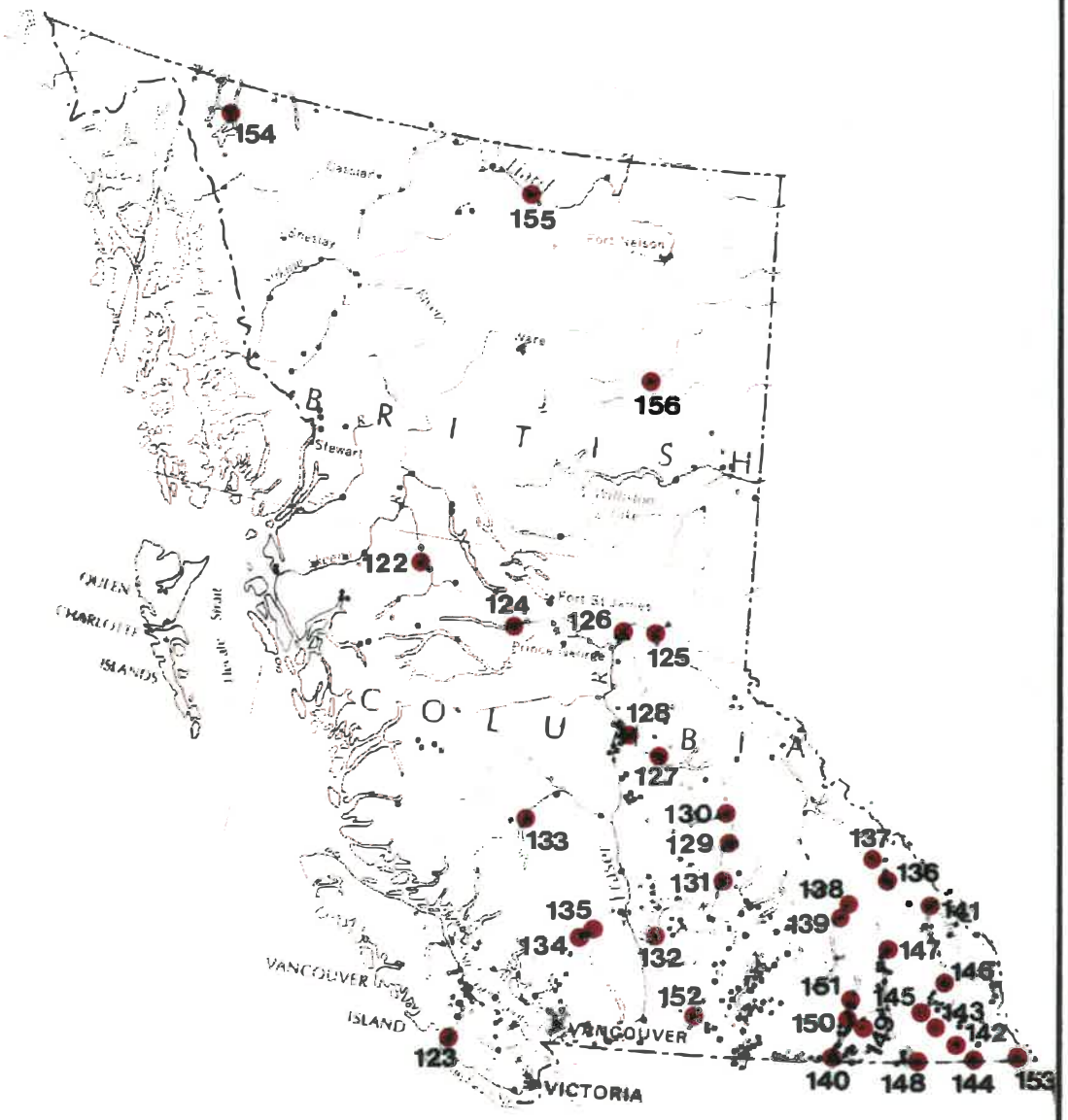


Figure 4.5 - Localisation des stations hydrométriques considérées en Colombie-Britannique

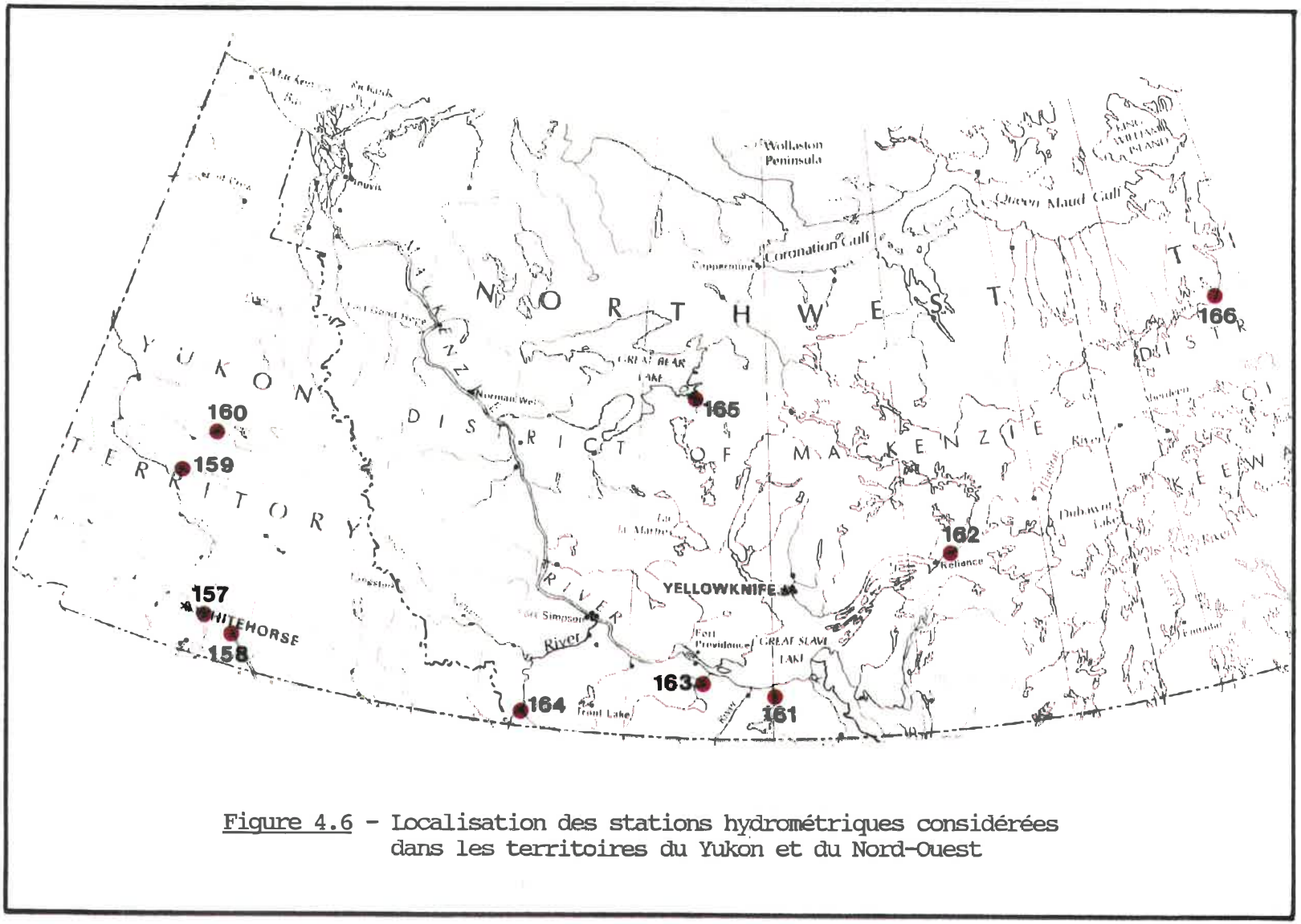


Figure 4.6 - Localisation des stations hydrométriques considérées dans les territoires du Yukon et du Nord-Ouest

Tableau 4.1 - Répartition des stations hydrométriques considérées entre les différentes provinces et territoires

Province ou territoire	Période d'observation		Total
	≥ 30 ans	entre 20 et 30 ans	
Provinces maritimes	**28**	**0**	**28**
Ile-du-Prince-Edouard	0	0	0
Nouveau-Brunswick	9	0	9
Nouvelle-Ecosse	12	0	12
Terre-Neuve	7	0	7
Québec	**32**	**8**	**40**
Ontario	**22**	**1**	**23**
Provinces des prairies	**16**	**14**	**30**
Alberta	14	6	20
Saskatchewan	1	1	2
Manitoba	1	7	8
Colombie-Britannique	**35**	**0**	**35**
Territoires du Yukon et du Nord-Ouest	**3**	**7**	**10**
Territoire du Yukon	3	1	4
Territoires du Nord-Ouest	0	6	6

Il est déplorable de constater que certaines parties du territoire canadien soient aussi faiblement représentées. Signalons entre autres, la côte ouest de la Colombie-Britannique dont l'intérêt réside dans la grande variabilité des débits dans cette région (CNRC, 1989) ainsi que la région entourant la rivière Fraser, toujours en Colombie-Britannique, sur laquelle les études de Waylen et Woo citées précédemment ont principalement portées.

On remarque que l'Ile-du-Prince-Edouard ne possède aucune station. De plus, la Saskatchewan n'est représentée que par deux stations, parce que les stations situées dans cette province ont peu d'années d'observation, ou sont dans plusieurs cas, de nature saisonnière.

4.1.2 Détermination de la période d'observation

En se référant à l'Hydrologie des crues au Canada (CNRC, 1989), un intervalle à l'intérieur duquel les maximums annuels surviennent plus fréquemment, de même qu'un intervalle plus large à l'intérieur duquel les maximums annuels ont été observés, ont pu être établis pour chacune des provinces et territoires étudiés. Ces intervalles sont présentés au tableau 4.2. L'analyse étant saisonnière, la période d'observation devrait être constituée autant que possible d'années complètes d'enregistrement. Par ailleurs, il est important de tirer le maximum de l'information disponible. Les critères de rejet suivants ont donc été établis afin de répondre à ces deux exigences, ainsi:

i) les années d'enregistrement présentant plus de 3 mois de données manquantes sont systématiquement rejetées;

ii) les années d'enregistrement présentant au moins un mois de données manquantes à l'intérieur de l'intervalle où les crues maximums annuelles surviennent plus fréquemment, sont également rejetées;

iii) elles sont aussi rejetées, si elles présentent plus d'un mois manquant à l'intérieur de la période où les crues sont susceptibles de survenir.

Les périodes d'observation considérées sont indiquées aux tableaux A1 à A6 pour chacune des stations hydrométriques.

Tableau 4.2 - Intervalles considérés pour la détermination de la période d'observation

Province ou territoire	Intervalle où des crues maximales annuelles ont été observées	Intervalle où les crues maximales annuelles sont les plus fréquentes
Nouveau-Brunswick	janv. à déc.	mai à juin
Nouvelle-Ecosse	janv. à déc.	mai à juin
Terre-Neuve	janv. à déc.	mai à juin
Québec (sud) (nord)	févr. à oct. avr. à août	avr. à juin avr. à juin
Ontario	janv. à déc.	mars à juin
Alberta	mars à oct.	avr. à juill.
Saskatchewan	mars à oct.	avr. à juill.
Manitoba	mars à oct.	avr. à juill.
Colombie-Britannique	janv. à déc.	janv. et oct. mai à juin
Territoire du Yukon	mai à août	mai à juin
Territoires du Nord-Ouest	mai à août	mai à juin

4.2 DONNEES METEOROLOGIQUES

4.2.1 Choix des stations météorologiques

Les stations météorologiques les plus représentatives des bassins versants considérés ont été retenues. Le caractère représentatif de la station météorologique dépend de sa localisation par rapport au bassin versant étudié, ainsi que de sa période d'enregistrement. Les stations météorologiques associées à chacune des stations hydrométriques sont indiquées aux tableaux A1 à A6. L'information météorologique utilisée se limite aux données journalières de précipitations de pluie.

4.2.2 Détermination du nombre de jours antécédents

Suivant l'approche décrite par Waylen et Woo (1982,1983c), le nombre de jours antécédents au temps d'occurrence de la pointe qui doit être considéré, dépend de la superficie et de la capacité d'emmagasinement du bassin versant. Ainsi, pour les bassins d'environ 750 km^2 de la région montagneuse de l'Ouest canadien, ils considèrent quatre jours antérieurs alors que pour des bassins de 600 à 11 000 km^2 du nord de l'Ontario, ils en considèrent huit.

Le tableau 4.3 indique le nombre de jours antécédents considéré dans cette étude selon la superficie du bassin versant.

Ce tableau est basé sur les critères de Waylen et Woo ainsi que sur une estimation du temps requis pour que le bassin entier réagisse à un évènement pluvieux. Pour les bassins d'une superficie supérieure à 10 000 km^2, ce temps D est évalué par l'équation 2.1, qui correspond au nombre de jours devant séparer deux excédances pour qu'elles soient considérées indépendantes.

Tableau 4.3 - Nombre de jours antécédents considérés en fonction de la superficie du bassin versant

Superficie en km^2	Nombre de jours antécédents considérés
< 50	2
50 - 500	3
500 - 3 000	4
3 000 - 5 000	5
5 000 - 6 000	6
6 000 - 8 000	7
8 000 - 10 000	8
10 000 - 15 000	10
15 000 - 20 000	12
20 000 - 30 000	14
30 000 - 100 000	15
> 100 000	16

4.3 EXEMPLES D'APPLICATION

Afin d'illustrer la diversité des résultats obtenus, trois exemples types d'application sont détaillés à l'intérieur de cette section. Le cas pour lequel les crues se regroupent toutes à l'intérieur d'une seule population ne présente aucun intérêt et ne sera donc pas traité. Pour chacun des exemples qui suivent, il existe une deuxième population distincte. Les exemples diffèrent de la façon suivante:

i) dans le premier cas, l'augmentation du débit de base requise afin d'améliorer la qualité de l'ajustement, rend la deuxième population négligeable (comportement de type I);

ii) dans le deuxième cas, la deuxième saison persiste malgré l'augmentation du débit de base; l'analyse saisonnière ne fournit toutefois aucune amélioration dans l'ajustement du modèle des excédances (comportement de type II);

iii) le dernier cas se distingue du précédent par le fait voulant que l'analyse saisonnière conduit cette fois à un meilleur ajustement que l'analyse annuelle (comportement de type III).

Les trois stations hydrométriques choisies pour illustrer ces cas sont toutes situées au Québec, mais reflètent néanmoins les résultats typiques obtenus pour les diverses régions du Canada.

4.3.1 Exemple no.1

Station hydrométrique: (38) 020B003 + 020B017

Rivière Ouareau aux chutes Darwin

Station météorologique: 7013360 Joliette

Nombre d'années d'observation: 64 ans

Aire du bassin versant: 1 274 km^2

Nombre de jours antérieurs considérés: 4 jours

ETAPE 1:

Afin d'obtenir une moyenne de trois excédances par année, le débit de base est fixé à 60.1 m^3/s. Les excédances ξ_i répondent favorablement au test d'indépendance.

ETAPE 2:

Le graphe du débit de pointe en fonction de la précipitation cumulée (figure 4.7a) indique que la plupart des événements reliés à la fonte ont surtout lieu en avril (D) et mai (E), quoique certains événements en mars (C) et en juin (F) semblent s'apparenter à ce phénomène. Les débits de pointe des événements relevés entre juillet (G) et septembre (I) sont faibles par rapport aux événements de fonte. Pour les mois d'octobre (J) à décembre (L), des événements plus importants ont lieu, et s'apparentent à de fortes précipitations comparativement au reste de l'année. En

période de fonte, le débit de pointe ne semble pas dépendre directement de la précipitation cumulée, ceci même en faisant varier le nombre de jours antécédents. Aucun critère de précipitation ne peut donc être tiré de ce graphique afin de dissocier la fonte seule, du phénomène de précipitation survenant en période de fonte. L'approche du découpage selon les phénomènes générateurs est donc rejetée.

Le graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base (figure 4.7b) permet de distinguer quatre périodes homogènes selon la méthode proposée par Ashkar et Rousselle (1985):

1. 1er mars au 15 juin;
2. 16 juin au 15 septembre;
3. 16 septembre au 31 décembre;
4. 1er janvier au 29 février.

Ces limites sont évidemment approximatives. On remarque que pour un débit de base de 60.1 m^3/s, la période 3 est relativement importante. Par contre, plus le débit de base augmente, plus le nombre d'événements dans la période 3 diminue par rapport à la période 1.

L'histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude et du mois (figure 4.7c) complète l'information de la figure précédente en permettant de visualiser de façon

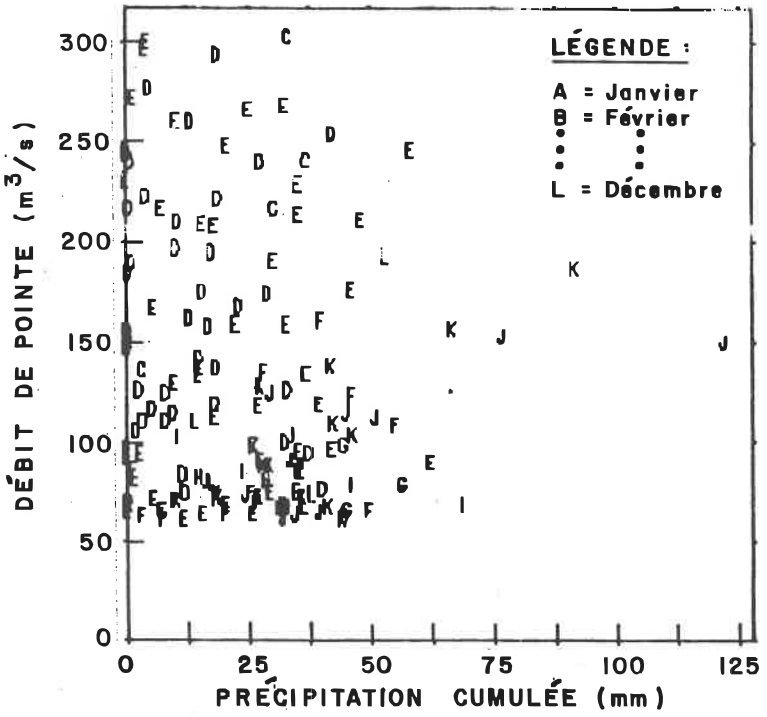


Figure 4.7a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

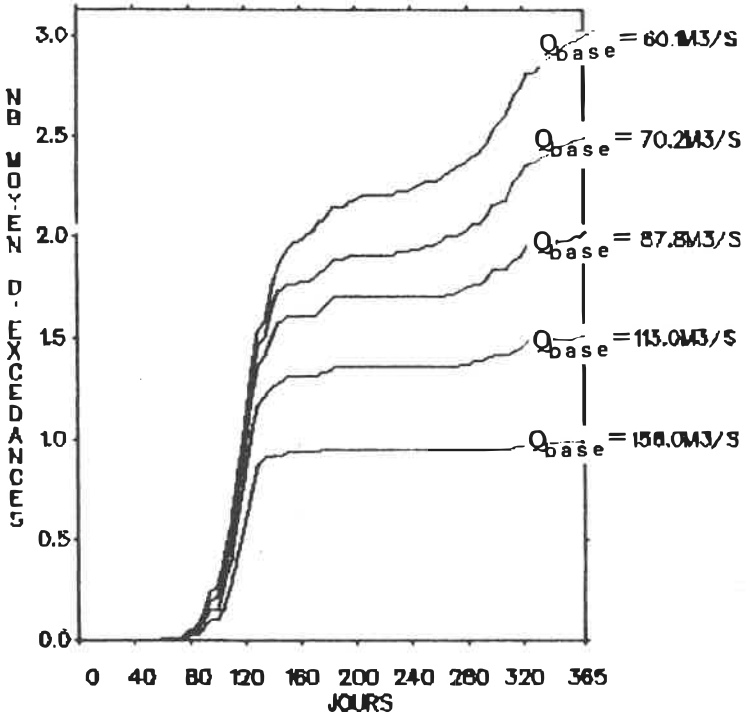


Figure 4.7b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure 4.7 - Résultats de l'analyse saisonnière
Stations 020B003 + 020B017

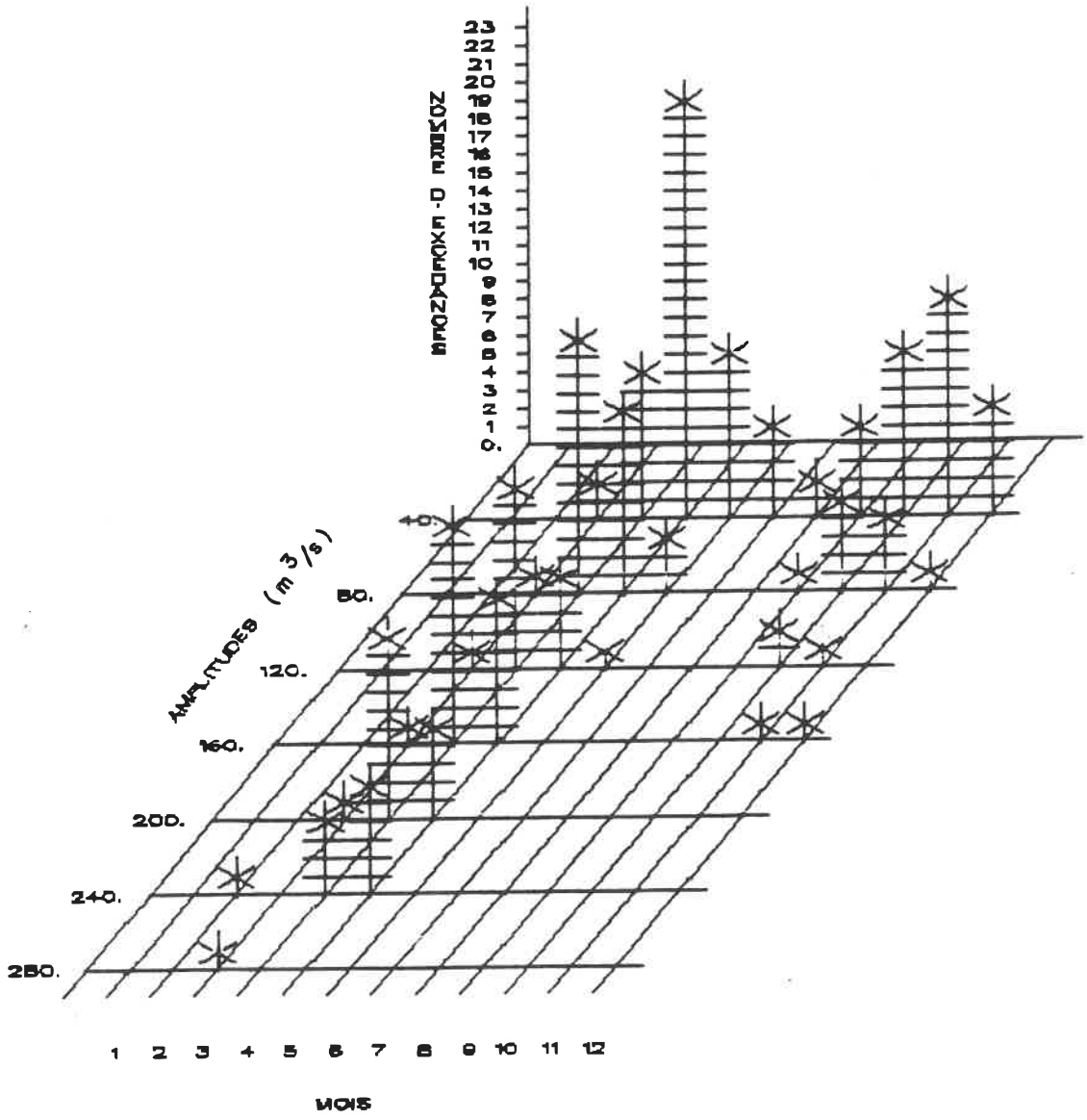


Figure 4.7c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois

Figure 4.7 (suite) - Résultats de l'analyse saisonnière
Stations 020B003 + 020B017

plus détaillée la répartition des excédances dans le temps ainsi que l'importance de leur amplitude. L'observation de la liste des excédances et de leur date d'occurrence a finalement conduit à un découpage en quatre périodes:

1. 25 février au 30 juin;
2. 1er juillet au 30 septembre;
3. 1er octobre au 31 décembre;
4. 1er janvier au 24 février.

ETAPES 3 ET 4:

Pour un débit de base de 60.1 m^3/s, les tests d'ajustement des lois exponentielles et de Poisson sont rejetés. Afin d'améliorer la qualité de l'ajustement du modèle des excédances avec les données expérimentales, le débit de base a dû être augmenté de façon graduelle jusqu'à la valeur de 156.0 m^3/s qui correspond à une moyenne de une excédance par année. La figure 4.8 illustre la variation des résultats de l'analyse de fréquence due à l'augmentation du débit de base. On remarque que pour les niveaux de base inférieurs, l'analyse saisonnière influence les résultats, mais lorsqu'on augmente le débit de base pour améliorer l'ajustement, cette influence devient négligeable. Même si au niveau de base fixé, les tests sont encore rejetés, la valeur du débit de base sera conservée afin de maintenir le caractère représentatif de la série.

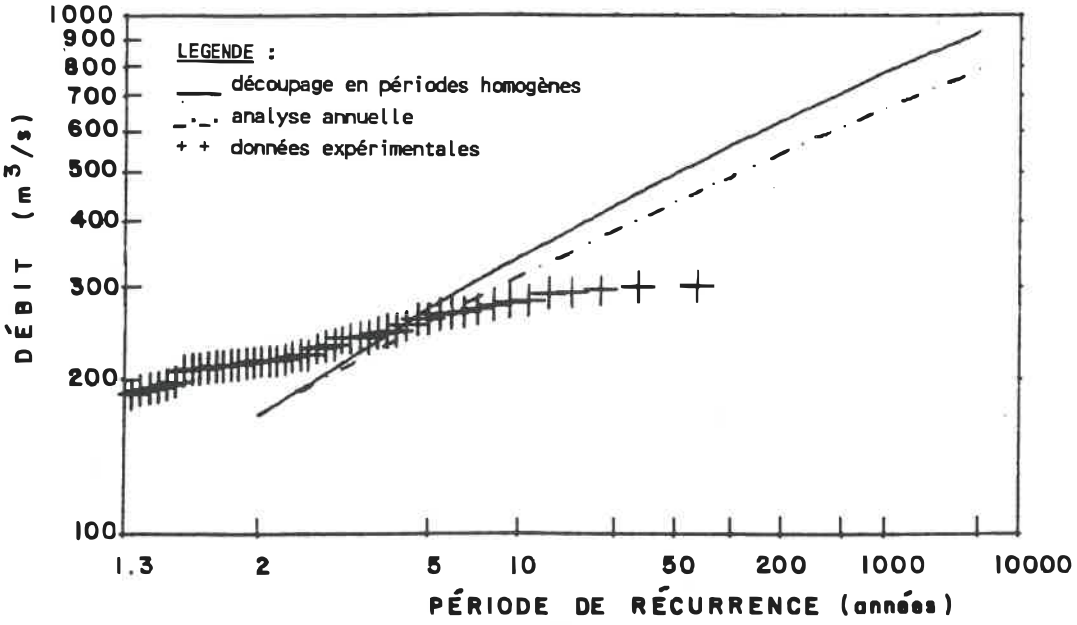


Figure 4.8a - Q_{base} = 60.1 m^3/s

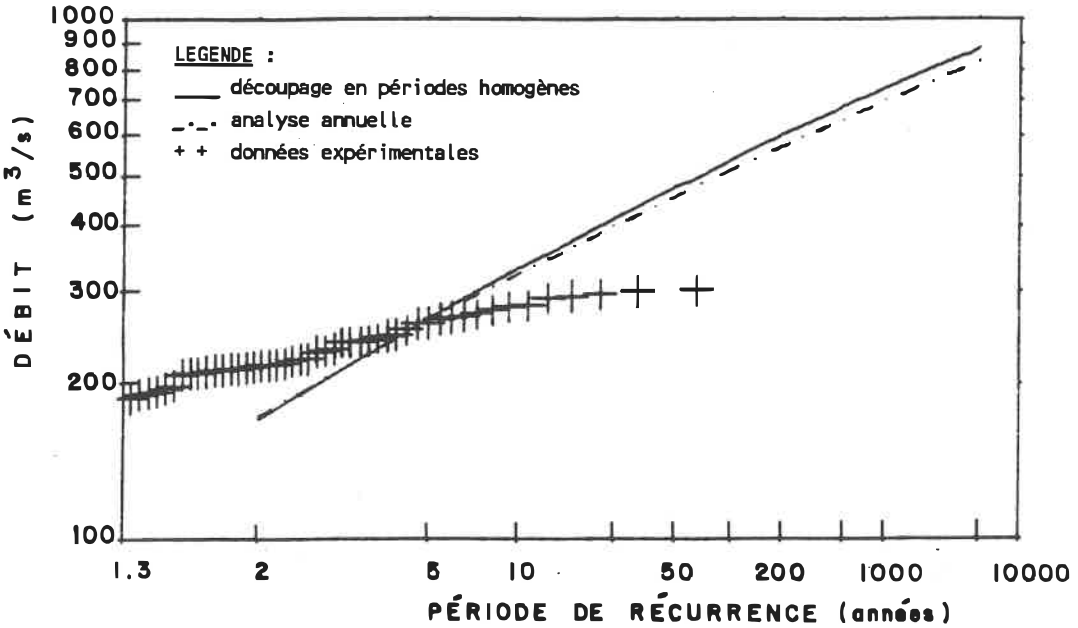


Figure 4.8b - Q_{base} = 87.8 m^3/s

Figure 4.8 - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence pour différents débits de base Stations 020B003 + 020B017

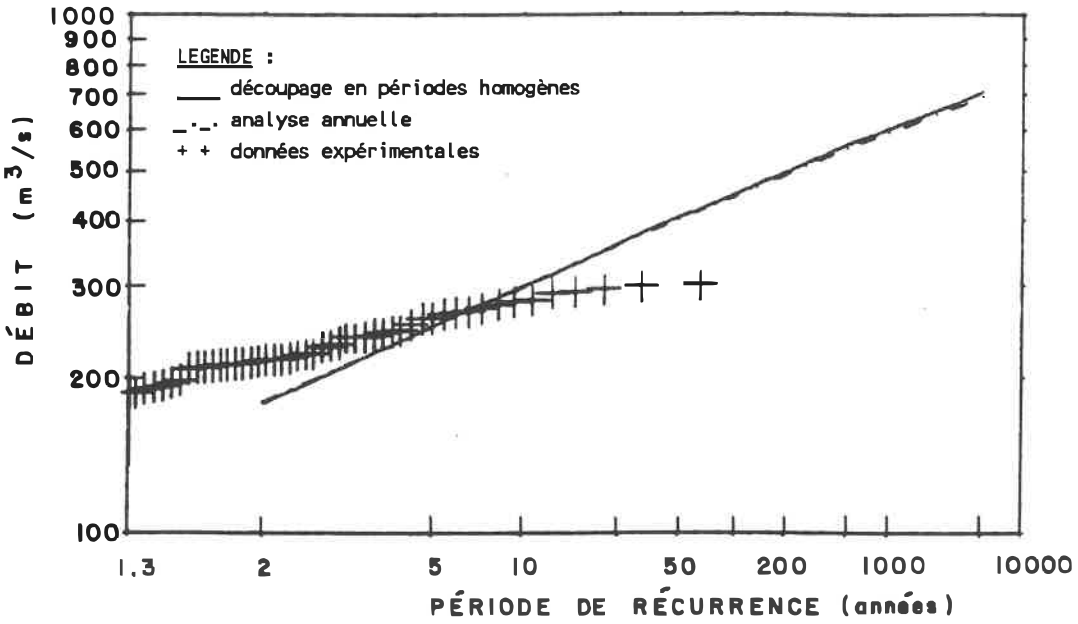


Figure 4.8c - Q_{base} = 156.0 m^3/s

Figure 4.8 (suite) - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence pour différents débits de base
Stations 020B003 + 020B017

Les figures 4.9a et 4.9b permettent de visualiser l'ajustement des lois de Poisson et exponentielle associé à ce débit de base (156.0 m^3/s) pour la période 1 (25 février au 30 juin) qui renferme 95% des excédances. On remarque que la loi de Poisson surestime le nombre d'années où il n'y a aucune excédance et sous-estime le nombre d'années qui ne présentent qu'une seule excédance. La loi de Poisson se comporte également de cette façon pour des débits de base

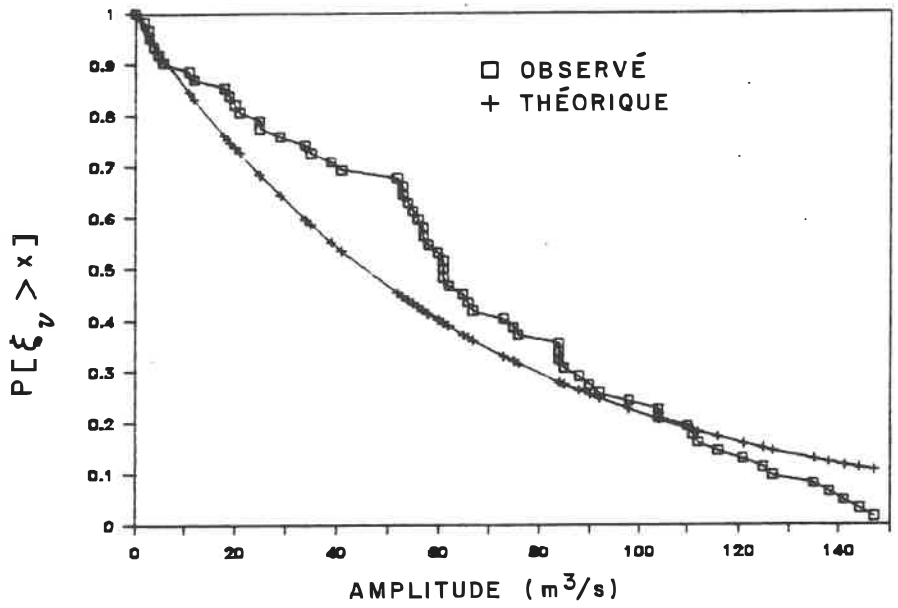


Figure 4.9a - Loi exponentielle

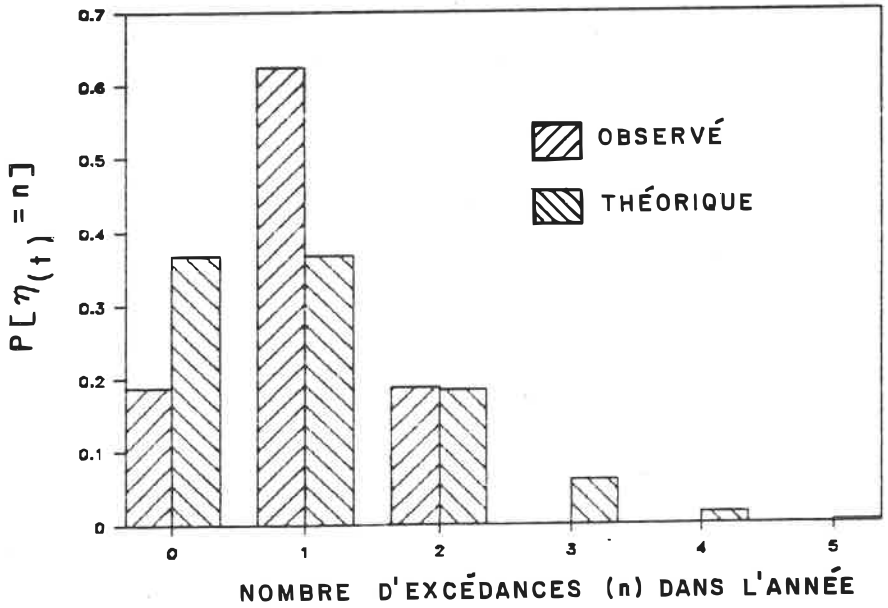


Figure 4.9b - Loi de Poisson

Figure 4.9 - Ajustement des lois exponentielle et de Poisson
Stations 020B003 + 020B017 (Q_{base} = 156.0 m^3/s)

inférieurs. Les résultats de l'analyse de fréquence sont présentés plus en détail au tableau C.1 de l'annexe C. Comme on pouvait prévoir, les résultats de l'analyse saisonnière se superposent aux résultats de l'analyse annuelle. On remarque également que le modèle s'ajuste mal aux données expérimentales, comme le reflètent les tests d'ajustement. Les coefficients de variation et d'asymétrie de la série de débits avant découpage sont respectivement 0.647 et 0.295. Il semble y avoir un lien entre ces deux valeurs et la qualité de l'ajustement. Ce sujet sera traité au chapitre suivant.

4.3.2 Exemple no.2

Station hydrométrique: (45) 02PA001 + 02PA007
Rivière Batiscan en aval de la rivière des Envies

Station météorologique: 7016840 Ste-Anne-de-la-Pérade

Nombre d'années d'observation: 36 ans

Aire du bassin versant: 4 400 km^2

Nombre de jours antérieurs considérés: 5 jours

ETAPE 1:

Afin d'obtenir une moyenne de trois excédances par année, le débit de base est fixé à 218.0 m^3/s. Les excédances ξ_i répondent favorablement au test d'indépendance.

ETAPE 2:

Le graphe du débit de pointe en fonction de la précipitation cumulée (figure 4.10a) présente plusieurs observations manquantes puisque la période d'enregistrement de la station météorologique est inférieure à celle de la station hydrométrique, rendant impossible le découpage par phénomènes générateurs. On remarque cependant que les événements causés par la fonte se situent principalement en avril (D) et mai (E). Ces événements sont généralement accompagnés de précipitations.

Comme le démontrent les figures 4.10b et 4.10c, une deuxième saison hydrologique, due aux précipitations, persiste malgré l'augmentation du débit de base. Les événements y sont toutefois moins fréquents. Suivant les étapes décrites précédemment, un découpage en quatre périodes jugées homogènes a été réalisé:

1. 1er avril au 31 mai;
2. 1er juin au 30 septembre;
3. 1er octobre au 30 novembre;
4. 1er décembre au 31 mars.

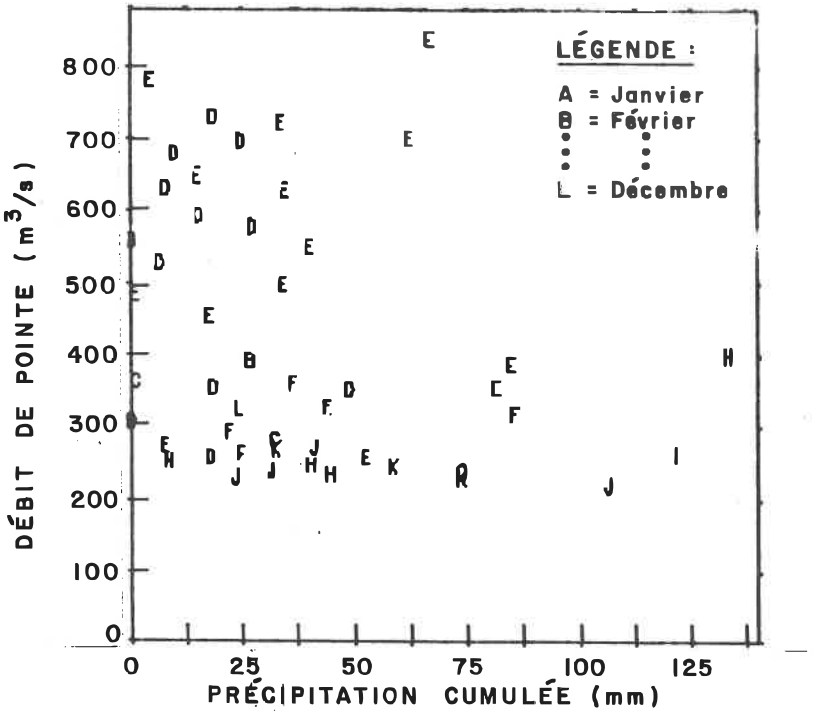


Figure 4.10a- Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

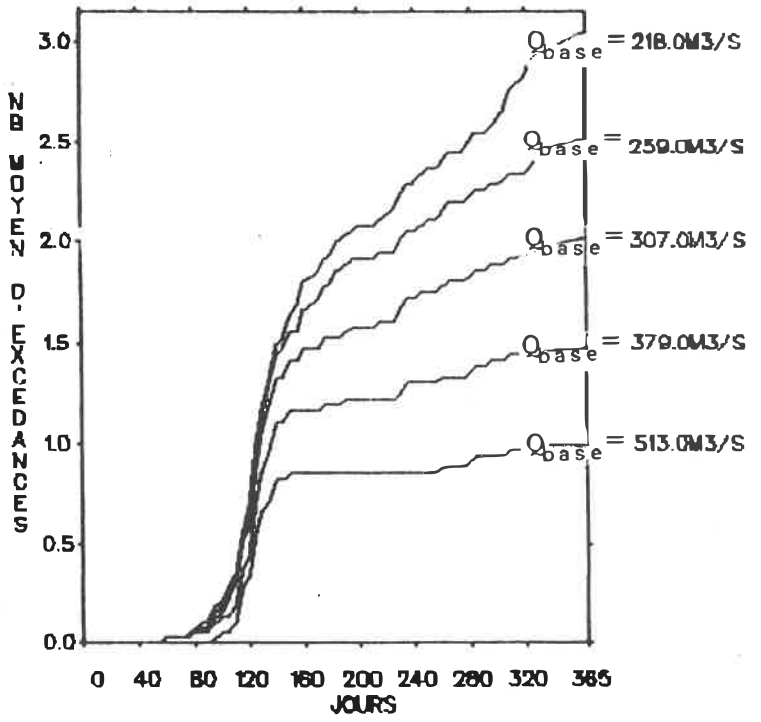


Figure 4.10b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure 4.10 - Résultats de l'analyse saisonnière
Stations 02PA001 + 02PA007

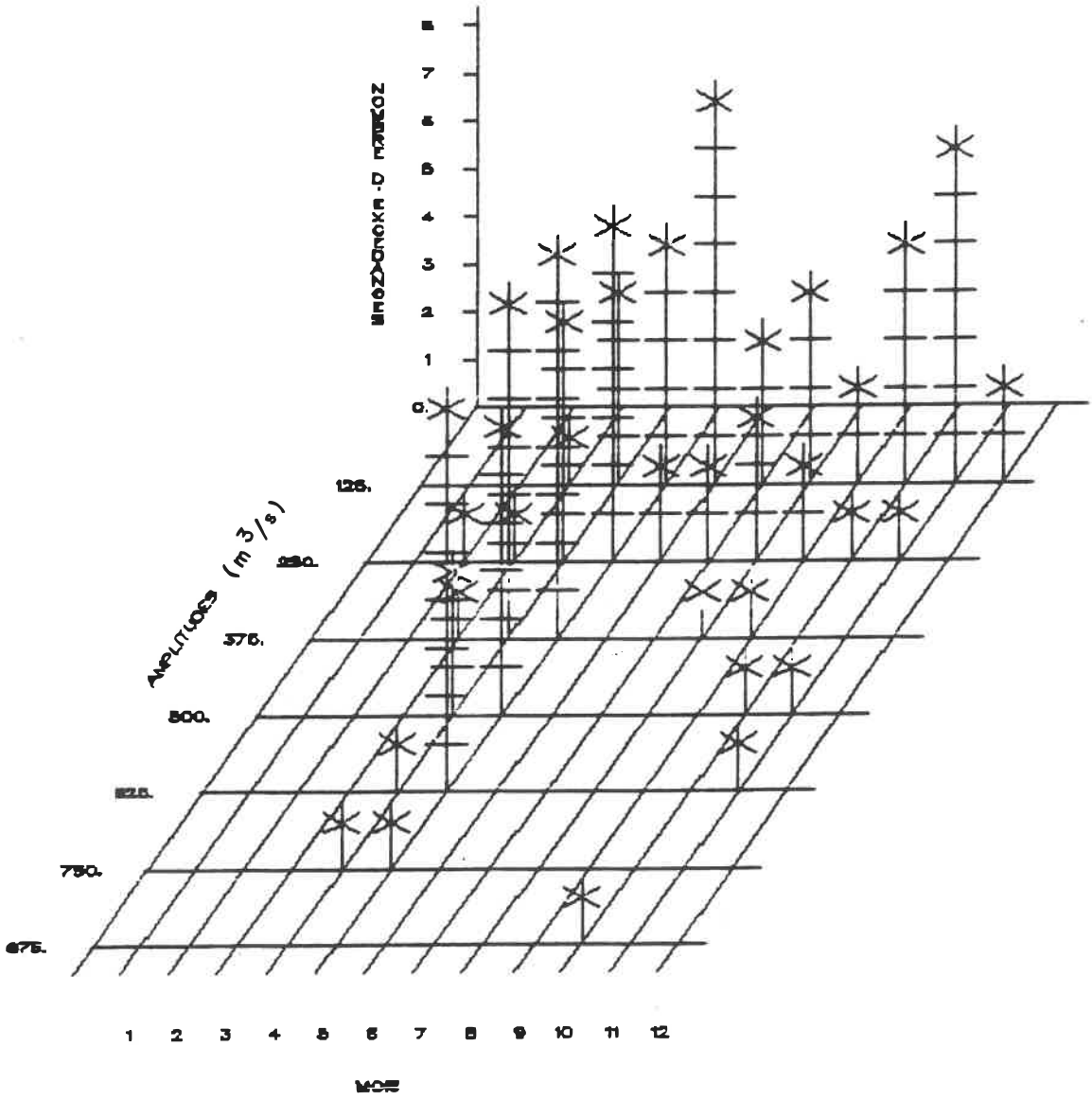


Figure 4.10c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois

Figure 4.10 (suite) - Résultats de l'analyse saisonnière
Stations 02PA001 + 02PA007

ETAPES 3 ET 4:

Afin d'améliorer la qualité de l'ajustement du modèle des excédances, le débit de base a été augmenté de façon graduelle jusqu'à la valeur de 513.0 m^3/s. Ce dernier correspond à une moyenne de une excédance par année. La figure 4.11 illustre la variation des résultats de l'analyse de fréquence due à l'augmentation du débit de base. Comme pour l'exemple précédent, on remarque que l'écart entre la courbe d'analyse saisonnière et la courbe d'analyse annuelle diminue lorsqu'on augmente le débit de base. Les tests d'ajustement acceptent la loi exponentielle mais rejetent la loi de Poisson. Les figures 4.12a et 4.12b illustrent l'ajustement de ces deux lois par rapport aux données expérimentales, pour la période 1. Comme dans le cas précédent, la loi de Poisson surestime le nombre d'années pour lesquelles le nombre d'excédances est nul et sous-estime le nombre d'années pour lesquelles une seule excédance est survenue.

Les résultats de l'analyse de fréquence sont présentés plus en détail au tableau C1. Notons que les coefficients de variation et d'asymétrie de la série sont respectivement de 0.733 et 0.588. L'analyse saisonnière n'a une influence réelle que pour des périodes de récurrence supérieures à 50 ans. Cette influence, faible au départ, augmente pour des périodes de récurrence élevée.

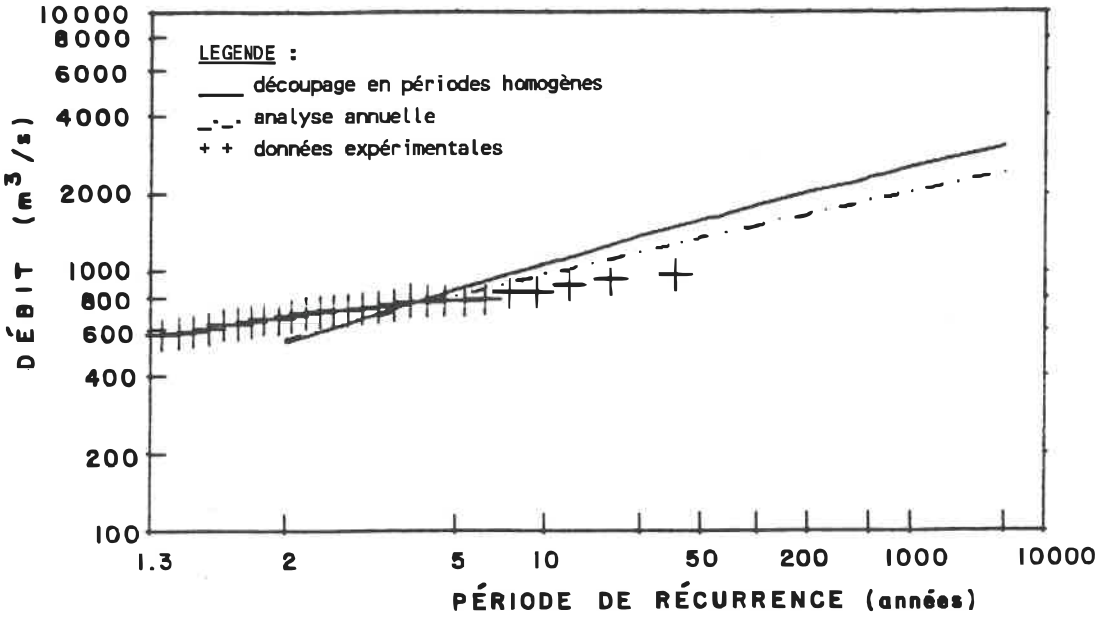


Figure 4.11a - Q_{base} = 218.0 m³/s

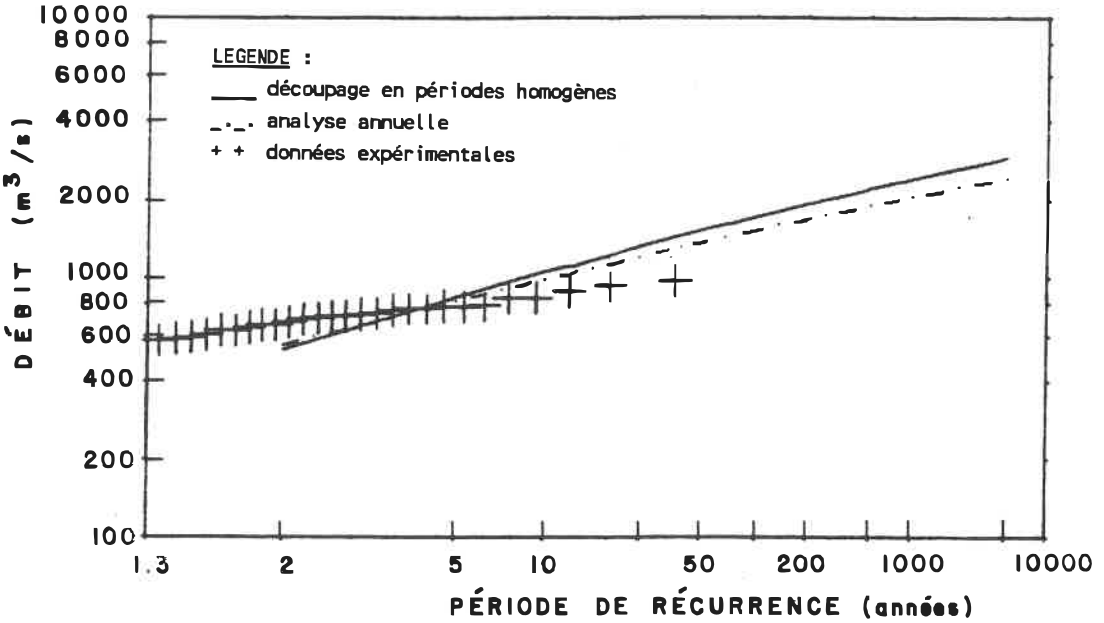


Figure 4.11b - Q_{base} = 307.0 m³/s

Figure 4.11 - Graphe du débit de pointe (m³/s) en fonction du nombre d'années de récurrence pour différents débits de base Stations 02PA001 + 02PA007

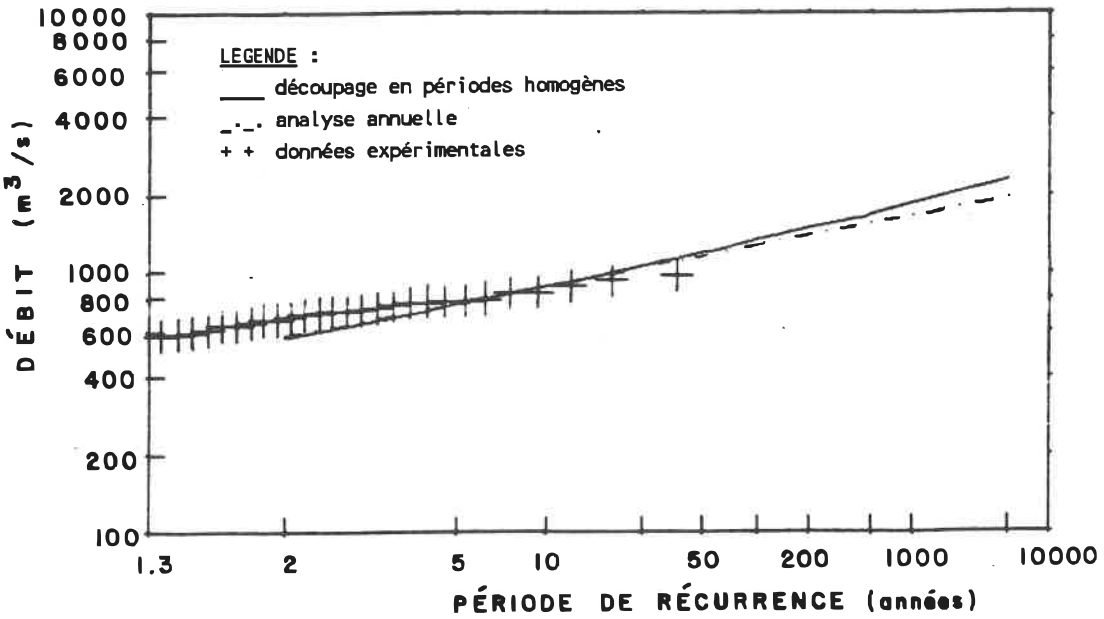


Figure 4.11c - Q_{base} = 513.0 m³/s

Figure 4.11 (suite) - Graphe du débit de pointe (m³/s) en fonction du nombre d'années de récurrence pour différents débits de base
Stations 02PA001 + 02PA007

Par exemple, pour une période de récurrence de 5000 ans, il résulte un débit de 1935 m³/s de l'analyse annuelle, alors qu'il résulte un débit de 2280 m³/s de l'analyse saisonnière. Ce dernier résultat obtenu par l'analyse saisonnière correspond donc à une augmentation de 18% par rapport à l'analyse annuelle.

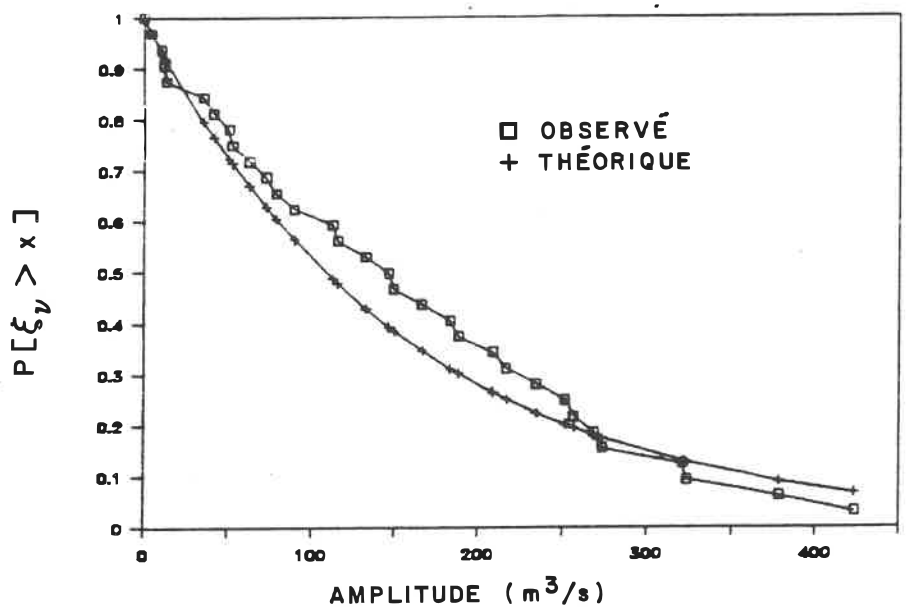


Figure 4.12a - Loi exponentielle

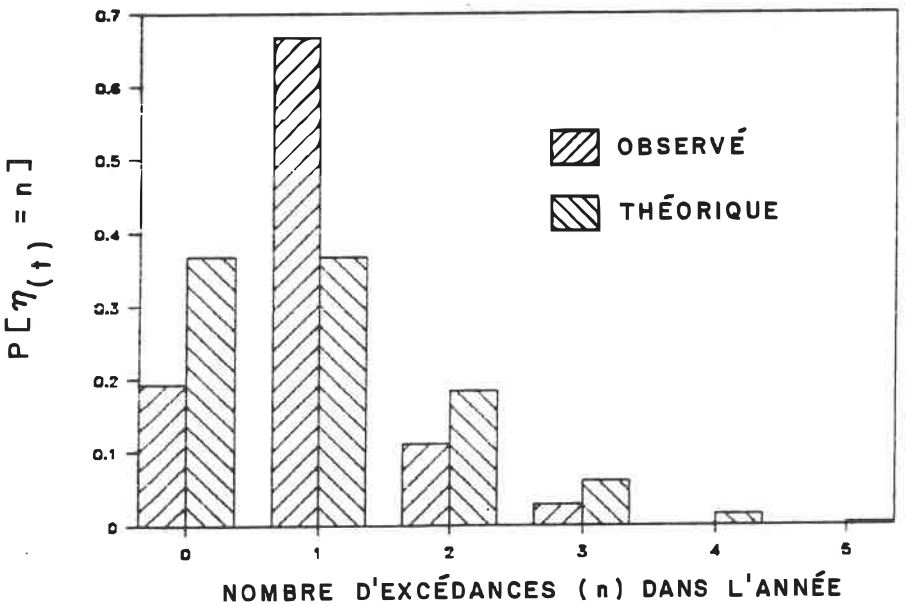


Figure 4.12b - Loi de Poisson

Figure 4.12 - Ajustement des lois exponentielle et de Poisson
Stations 02PA001 + 02PA007 (Q_{base} = 513.0 m^3/s)

4.3.3 Exemple no.3

Station hydrométrique: (60) 02VA001 Rivière au Tonnerre

Station météorologique: 704FEG0 Rivière au Tonnerre

Nombre d'années d'observation: 34 ans

Aire du bassin versant: 684 km^2

Nombre de jours antérieurs considérés: 4 jours

ETAPE 1:

Afin d'obtenir une moyenne de trois excédances par année, le débit de base est fixé à 74.5 m^3/s. Les excédances ξ_i répondent favorablement au test d'indépendance.

ETAPE 2:

Ce cas présente certaines analogies avec l'exemple no.2. En effet, dans les deux cas, la série présente une seconde population qui persiste malgré l'augmentation du débit de base. Les graphes ayant servi au découpage sont illustrés aux figures 4.13a, 4.13b et 4.13c. La figure 4.13c révèle la présence d'événements rares dans la série de débits en octobre et en décembre. Le découpage en périodes homogènes est réalisé à partir des critères suivants:

1. 1er janvier au 31 mars;
2. 1er avril au 30 juin;

3. 1er juillet au 30 septembre;

4. 1er octobre au 31 décembre.

Un découpage selon les phénomènes générateurs est également possible. La période d'enregistrement de la station météorologique couvre suffisamment celle de la station hydrométrique. De plus, puisque le bassins versant ne recouvre qu'une superficie de 684 km^2, la station météorologique est suffisamment représentative des conditions de pluie sur tout le bassin. Deux populations semblent prendre place durant les mois d'avril et mai. Les événements dont la précipitation cumulée est supérieure à 20 mm environ, présentent des amplitudes en général plus élevées. Un second découpage basé sur les critères suivants est donc réalisé:

1. Fonte de neige:
   - 1er avril au 31 mai
   - Pcum $\leq$ 20 mm;
2. Précipitations durant la fonte:
   - 1er avril au 31 mai
   - Pcum > 20 mm;
3. Précipitations seules:
   - 1er juin au 31 mars.

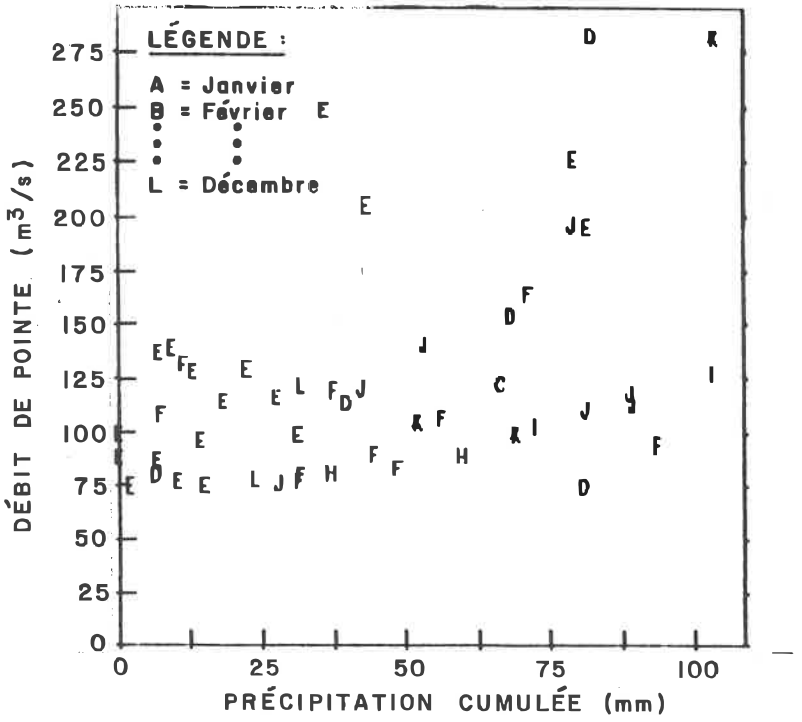


Figure 4.13a- Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

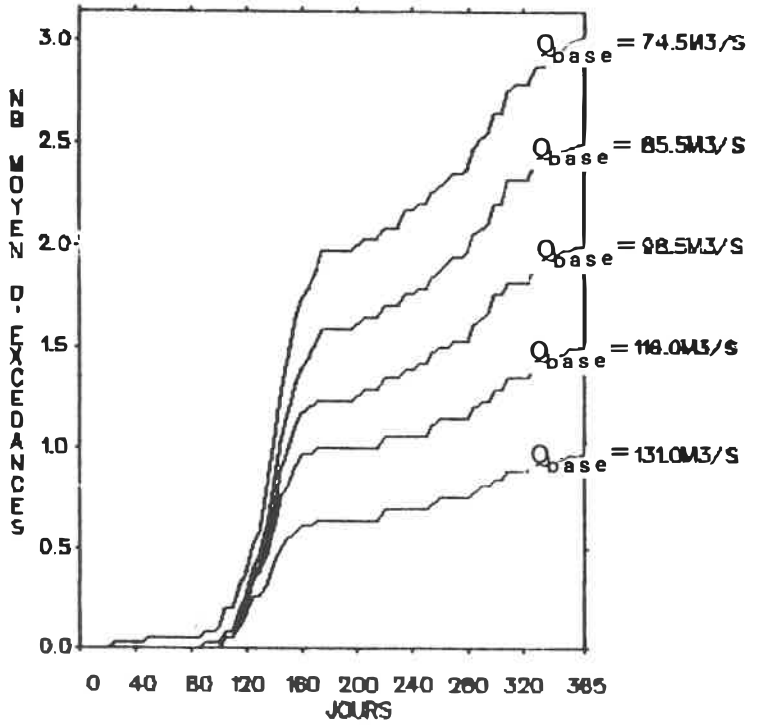


Figure 4.13b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure 4.13 - Résultats de l'analyse saisonnière
Stations 02VA001

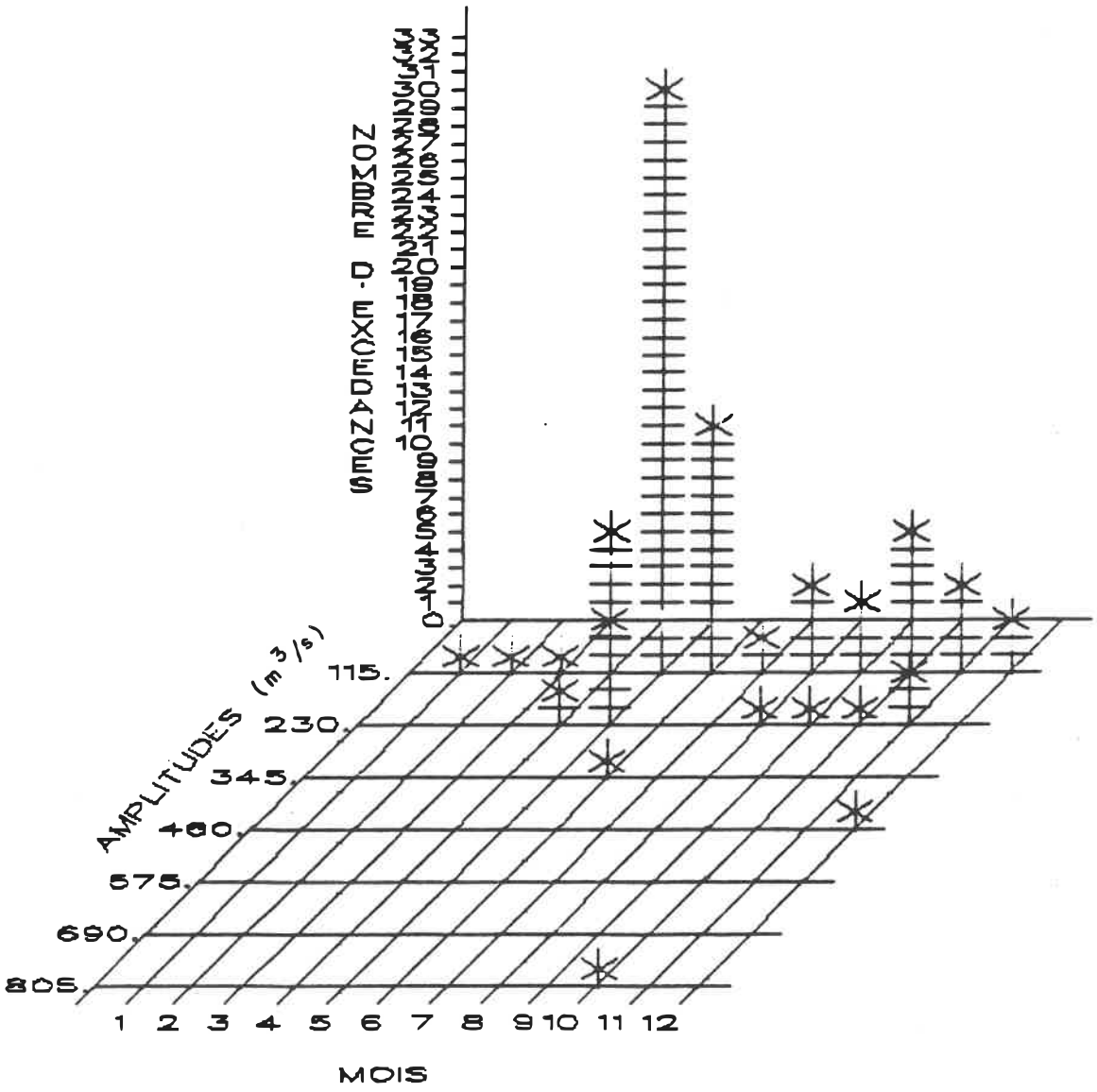


Figure 4.13c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois

Figure 4.13 (suite) - Résultats de l'analyse saisonnière
Station 02VA001

ETAPES 3 ET 4:

Le débit de base est fixé à 131.0 m^3/s qui correspond à une moyenne de 0.97 excédance par année, suivant la même procédure que pour les deux exemples précédents. La figure 4.14 illustre les résultats d'ajustement du modèle des excédances résultant du découpage en périodes homogènes, pour différents débits de base. Les résultats issus du découpage selon les phénomènes générateurs sont présentés à la figure 4.15 pour un débit de base de 131.0 m^3/s.

Les résultats de l'analyse de fréquence (figures 4.14 et 4.15, ainsi que le tableau C1) démontrent que l'analyse saisonnière influence les résultats de façon significative. Cette influence est encore plus marquée dans le cas du découpage par périodes homogènes. Analysons de plus près les résultats du découpage par périodes homogènes. Les valeurs des coefficients λ_i et β_i estimées pour les quatre périodes, ainsi que pour la série annuelle sont:

Tableau 4.4 - Valeurs des coefficients λ_i et β_i

Période (i)	λ_i	β_i
1	0.00	0.0000
2	0.65	0.0173
3	0.12	0.0199
4	0.21	0.0046
annuelle	0.97	0.0110

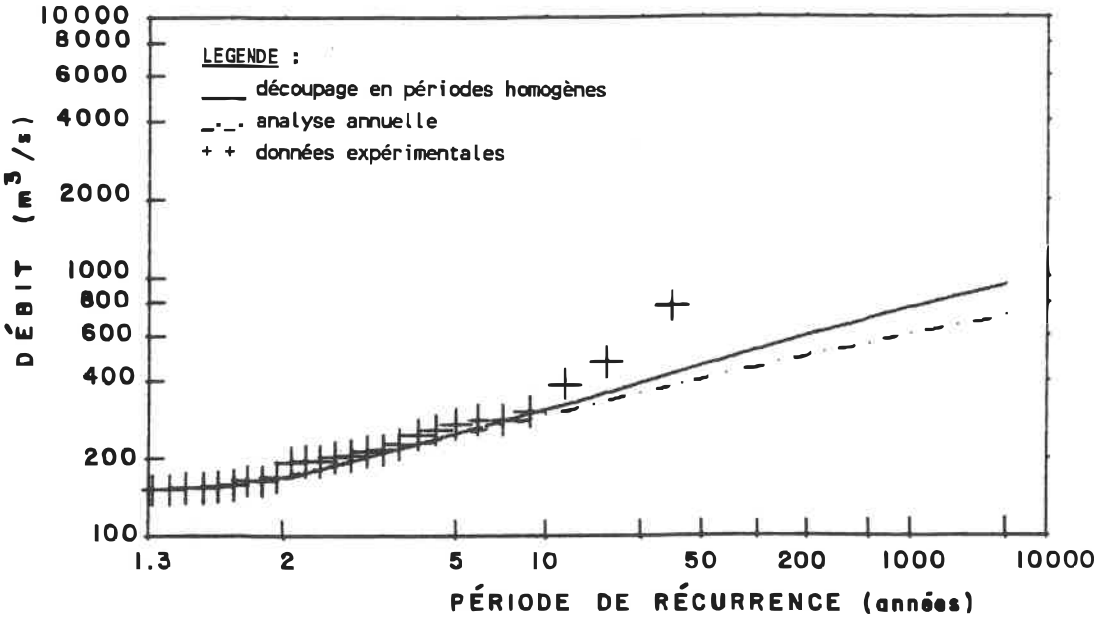


Figure 4.14a - Q_{base} = 74.5 m^3/s

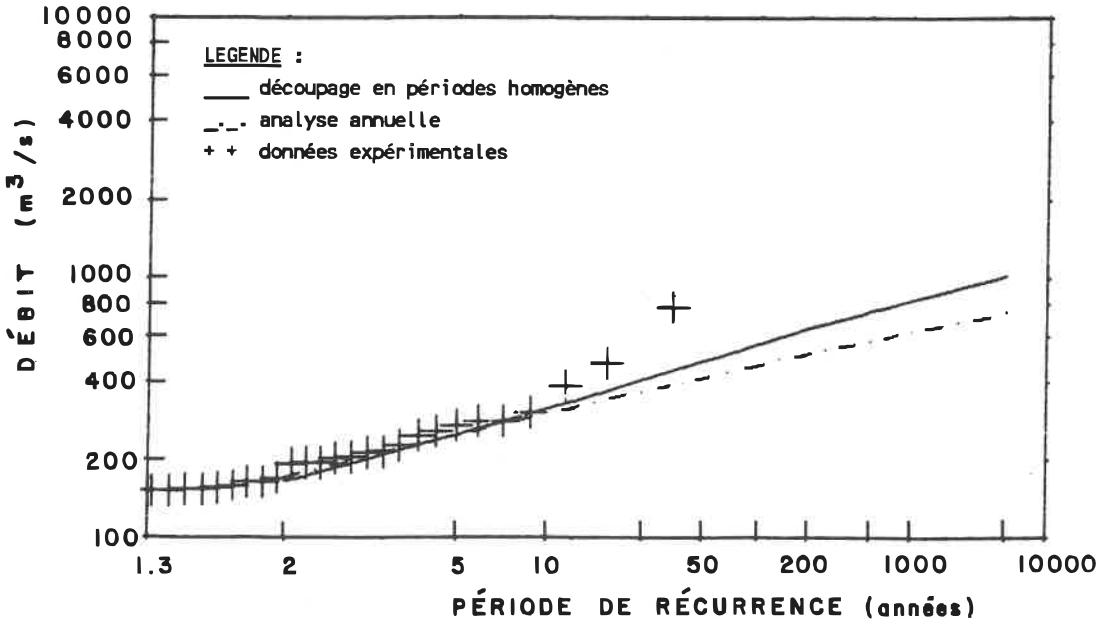


Figure 4.14b - Q_{base} = 98.5 m^3/s

Figure 4.14 - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence pour différents débits de base Station 02VA001

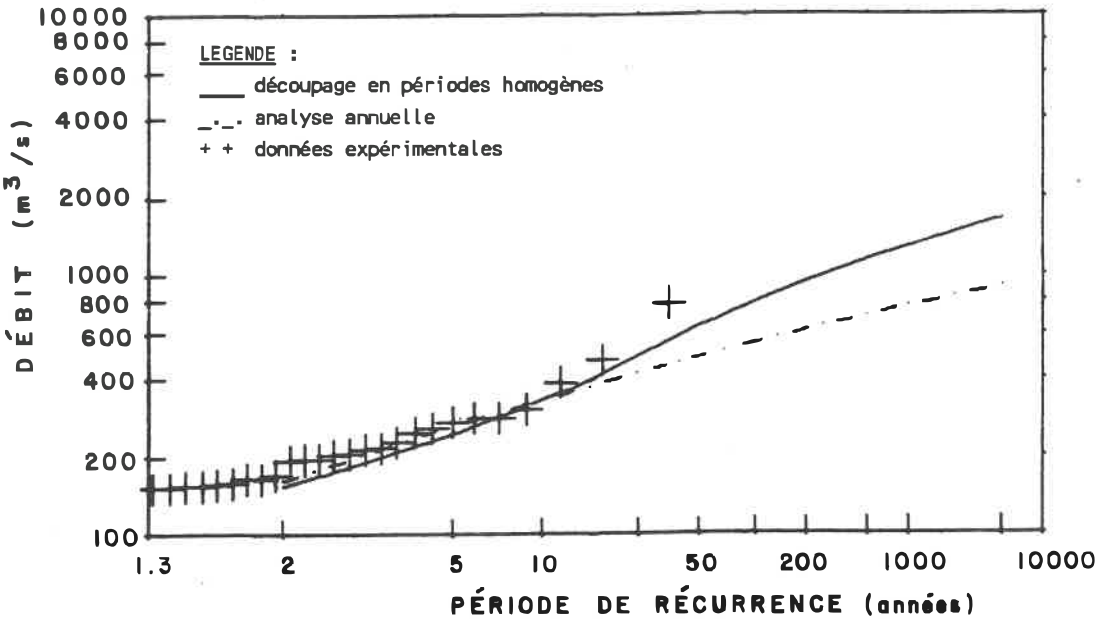


Figure 4.14c - Q_{base} = 131.0 m³/s

Figure 4.14 (suite) - Graphe du débit de pointe (m³/s) en fonction du nombre d'années de récurrence pour différents débits de base
Station 02VA001

Le coefficient β_4, étant relativement petit par rapport aux coefficients β_2 et β_3 (3 à 4 fois plus petit), possède un poids supérieur dans le modèle puisqu'il est soumis à une loi exponentielle. L'importance de ce poids sera minimisée par le fait que λ_4 est inférieur à λ_2. Par ailleurs, l'estimation du coefficient β_4 n'est basée que sur la moyenne de sept excédances dont un événement rare (le 27 octobre 1959, Q_p=782.0m³/s) . En éliminant cette valeur, on

obtient $\beta_4' = 0.0069$. La différence avec l'analyse annuelle est ainsi moins prononcée mais demeure tout de même importante. Le tableau 4.5 présente les résultats obtenus avant et après l'élimination de cette observation. On remarque que l'analyse annuelle sous-estime les débits. Pour l'événement du 27 octobre 1959, elle associe une période de récurrence de 1300 ans environ comparativement à 100 ans pour l'analyse saisonnière.

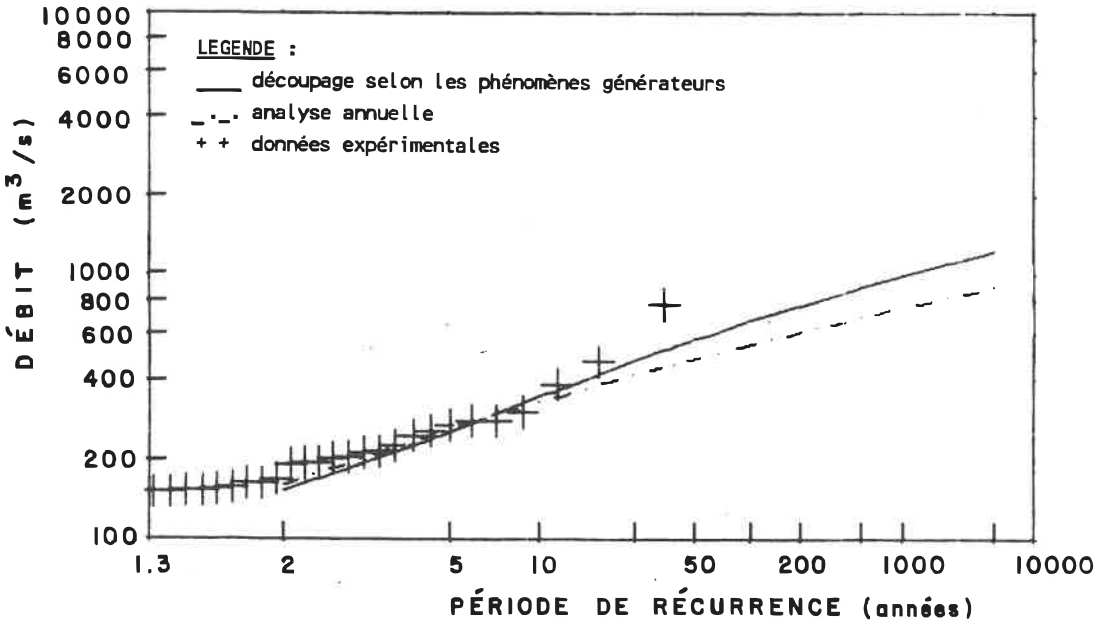


Figure 4.15 - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence
Station 02VA001 (Q_{base} = 131.0 m^3/s)

Tableau 4.5 - Résultats de l'analyse de fréquence avec et sans l'événement du 27 octobre 1959.

Période de récurrence (année)	Analyse saisonnière Q_T (m^3/s)		Analyse annuelle Q_T (m^3/s)	
	Avec	Sans	Avec	Sans
100	789.0	555.2	546.6	464.4
500	1140.4	784.1	693.3	582.9
1000	1291.5	884.7	756.4	633.8

Les coefficients de variation et d'asymétrie de la série avant découpage sont respectivement de 1.385 et 3.311. Suite à l'élimination de cette observation, le coefficient de variation de la série passerait de 1.385 à 1.050. Une valeur élevée du coefficient de variation peut donc révéler dans certains cas la présence d'événements rares, surtout si le nombre d'observation est petit.

L'ajustement des lois de Poisson et exponentielle est illustré aux figures 4.16a et 4.16b, pour la période 2. Les tests d'ajustement acceptent les deux lois. Malgré tout, on observe à nouveau la tendance de la loi de Poisson soulignée précédemment, qui consiste à surestimer le nombre d'années pour lesquelles il n'y a aucune excédance et sous-estimer le nombre d'années pour lesquelles le nombre d'excédances est égal à un.

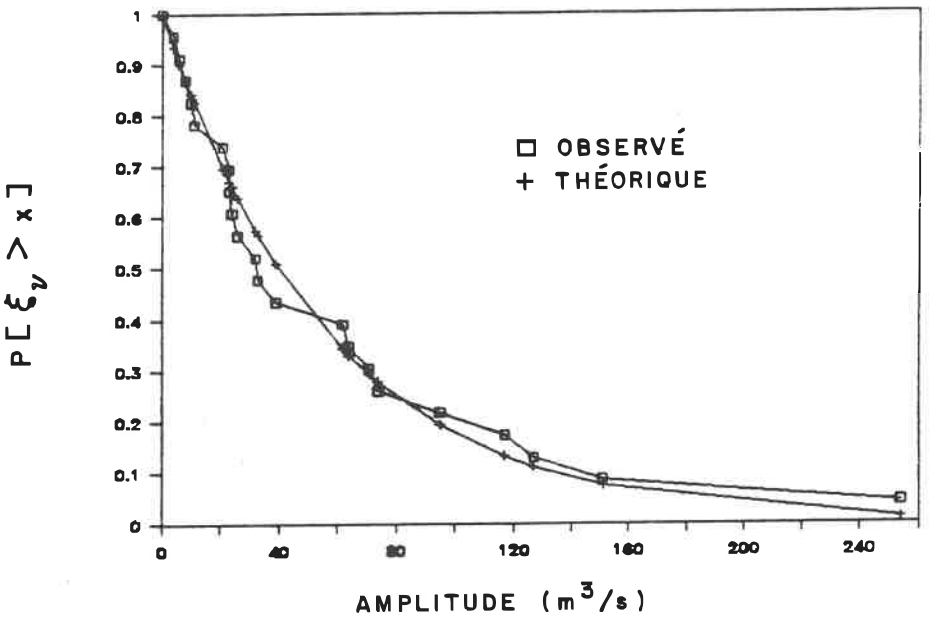


Figure 4.16a - Loi exponentielle

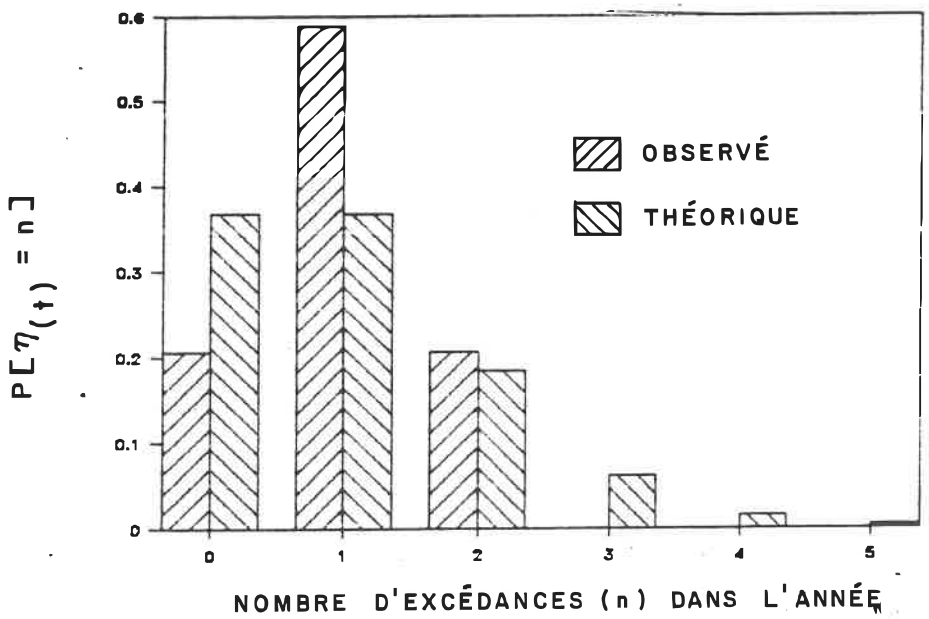


Figure 4.16 - Ajustement des lois exponentielle et de Poisson
Station 02VA001 (Q_{base} = 131.0 m^3/s)

4.4 RESULTATS

Les résultats obtenus pour les 166 stations hydrométriques soumises à l'étude sont fournis aux annexes B à G. Ils sont tout d'abord présentés sous forme d'un tableau à l'intérieur duquel se trouve, pour chacune des stations appartenant à la région étudiée, l'information suivante:

1. Numéro de la station à l'intérieur de l'annexe, correspond également au numéro de la série de figure propre à cette station;
2. Numéro d'identification du ministère de l'Environnement Canada;
3. Numéro, entre parenthèses, qui permet de localiser la station sur les cartes présentées aux figures 4.1 à 4.6;
4. Débit de base retenu pour l'analyse de fréquence;
5. Nombre moyen d'excédances correspondant;
6. Type de découpage: 1 = découpage en périodes homogènes;
   2 = découpage selon les phénomènes générateurs;
7. Critères de découpage;
8. Nombre d'excédances à l'intérieur de chacune des populations;
9. Résultats des tests d'ajustement pour la loi exponentielle et de Poisson: A = accepté;
   R = rejeté;

* = le nombre d'observations est trop petit pour que le test soit significatif

10. Paramètres λ_k estimés pour chacune des populations;
11. Paramètres β_k estimés pour chacune des populations;
12. Coefficient de variation C_v de la série annuelle.

Les critères de découpage ont été établis en se basant sur la série initiale, d'une moyenne annuelle de trois excédances par année. C'est pourquoi, lors du découpage en périodes homogènes, l'augmentation de Q_{base} a parfois occasionné la quasi élimination de certaines de ces périodes.

Les figures suivantes sont ensuite fournies dans l'ordre indiqué, pour chacune des stations hydrométriques:

- graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm), sauf si la station hydrométrique n'est associée à aucune station météorologique;
- graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base;
- histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois. Cet histogramme est calculé pour un débit de base correspondant à une moyenne de trois excédances par année, ou pour un débit de base égal à la plus petite des pointes lorsque le nombre de crues est insuffisant;

- graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence sur lequel apparaissent les données expérimentales et les deux courbes d'ajustement, avec et sans découpage en périodes homogènes;
- graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence sur lequel apparaissent les données expérimentales et les deux courbes d'ajustement, avec et sans découpage selon les phénomènes générateurs de crues (s'il y a lieu).

Dans cette section, les régions les plus concernées par l'analyse saisonnière seront exposées. Lors de l'explication des causes reliées aux crues, l'Hydrologie des crues au Canada (CNRC, 1989) a constitué un outil précieux et c'est pourquoi il sera régulièrement cité en référence. Nous ferons également référence aux comportements de type I, II et III relativement aux trois exemples précédents. Il sera ainsi possible de décrire le comportement des stations hydrométriques des différentes provinces. Notons finalement que les numéros utilisés pour identifier les stations correspondent aux numéros d'identification sur les cartes (figures 4.1 à 4.6).

4.4.1 Provinces maritimes

Les résultats de l'analyse saisonnière et de l'analyse de fréquence des 28 stations hydrométriques sélectionnées pour les provinces maritimes se trouvent à l'annexe B.

Nouveau-Brunswick

Les stations (1) et (2) situées à l'intérieur des terres, en bordure des frontières québécoise et américaine, présentent un comportement de type I. La station (2) est toutefois légèrement influencée par l'analyse saisonnière contrairement à la station (1), ce qui s'explique par le nombre moyen annuel d'excédances considérées qui est supérieur dans le cas de la station (2). Pour la station (3) située également à l'intérieur des terres, l'influence de la saison hydrologique associée aux précipitations commence davantage à se faire sentir. L'analyse saisonnière fournit des résultats différents de l'analyse annuelle pour des périodes de récurrence supérieures à 25 ans. A cause de la présence d'un événement rare au printemps, l'analyse saisonnière semble s'ajuster mieux aux observations.

Pour les stations situées plus à proximité de la côte, on retrouve surtout des comportements de type II et III. La saison due aux précipitations est surtout importante pour les stations (4) et (5) situées plus au sud, dont la superficie des bassins versants

est respectivement de 668 et 238 km^2. A cause de leur faible superficie, ces bassins sont plus sensibles aux orages de convection qui constituent l'un des phénomènes responsables des crues au Nouveau-Brunswick (CNRC, 1989). En général, les résultats de l'analyse de fréquence sont sensibles à l'analyse saisonnière, particulièrement pour les stations (3), (7), (8) et (9). L'amélioration est surtout évidente lorsqu'il y a présence d'événements rares puisque lorsqu'il y a démarquation, la courbe d'analyse saisonnière se situe toujours au-dessus de la courbe d'analyse annuelle pour des périodes de récurrence élevées.

Nouvelle-Ecosse

Les crues en Nouvelle-Ecosse peuvent survenir n'importe quand durant l'année. On remarque cependant qu'elles sont moins fréquentes pour les mois de juin, juillet et août. A cause des petites superficies des bassins versants, la montée et la décrue des événements a tendance à se faire rapidement (CNRC, 1989), c'est d'ailleurs ce qu'on observe à partir des séries de débits journaliers. Les crues printanières sont hâtives, dans la plupart des cas la période de fonte se termine en avril ou mai. Les stations ont un comportement qui s'apparente aux types II et III et la saison hydrologique due aux précipitations est en général aussi importante que la saison due à la fonte, sans doute à cause de la faible superficie des bassins versants. On remarque souvent la présence d'événements rares à l'intérieur de la série de débits.

Ces événements se situent tôt dans l'année (janvier) ou à l'automne (août-novembre). L'information météorologique est malheureusement insuffisante pour l'interprétation de ces événements. Comme pour le Nouveau- Brunswick, les résultats sont, en général, influencés par l'analyse saisonnière, plus particulièrement dans le cas des stations (13) et (17).

Terre-Neuve

Les stations hydrométriques sélectionnées sont toutes localisées sur l'île. En général, les crues surviennent d'avril à juin lorsqu'elles sont causées par la fonte de neige, et de novembre à février lorsqu'elles sont générées par les pluies seulement. Par rapport aux stations situées du côté est, la station (22) située du côté ouest de l'île présente une période de fonte un peu plus tardive (mai-juin), elle adopte un comportement de type II.

Pour les autres stations, les événements les plus importants se situent surtout entre décembre et février et les crues sont plutôt rares durant les mois de juin, juillet, août et septembre. La saison hydrologique due aux précipitations est moins marquée qu'en Nouvelle-Ecosse. Les résultats d'analyse de fréquence sont donc faiblement influencés par l'analyse saisonnière, sauf dans le cas de la station (25) pour laquelle l'analyse saisonnière fournie un meilleur ajustement pour les données expérimentales.

4.4.2 Québec

Les résultats de l'analyse saisonnière et de l'analyse de fréquence des 40 stations hydrométriques sélectionnées au Québec se trouvent à l'annexe C.

Pour les stations hydrométriques (64) à (67) situées au nord du Québec, près de la baie d'Ungava, les crues dues à la fonte dominent largement rendant inutile l'analyse saisonnière. Les maximums printaniers surviennent en mai et juin pour les stations (65) à (67), et en juin et juillet pour la station (64) située plus au nord. La station (64) présente moins de deux excédances indépendantes par année. Ceci peut s'expliquer en partie par l'effet régularisateur causé par les lacs en amont. De plus, pour les régions du nord, les précipitations sont moins abondantes et la période de crue et de décrue due à la fonte est beaucoup plus lente que pour les régions du sud.

La station (60) a déjà été commentée à la section précédente (4.3.3). Rappelons que dans ce cas, l'analyse de fréquence précédée de l'analyse saisonnière a fourni un meilleur ajustement. La répartition des excédances durant l'année est à peu près similaire pour la station (61) située à proximité de la station (60). Par contre, dans ce cas, la seconde saison disparaît lorsque le débit de base est tel que le nombre moyen

d'excédances est égal à 1, rendant ainsi inutile le découpage en périodes homogènes. Cette différence de comportement s'explique probablement par la superficie qu'occupe chacun des deux bassins versants qui correspond à 684 km^2 pour la station (60) et 13 028 km^2 pour la station (61). Les grands bassins versants sont plus affectés par la fonte de neige que par les précipitations comme le souligne cet exemple. La superficie peut donc dans certains cas constituer un critère permettant de juger de la pertinence d'effectuer une analyse saisonnière.

Pour la région de l'Abitibi, représentée par les stations (30), (62), (63) et (68), il existe deux populations distinctes. Les stations (63) et (68) adoptent un comportement de type II alors que les stations (30) et (62), dont les résultats sont influencés par l'analyse saisonnière s'apparentent davantage au type III.

La région du lac St-Jean est représentée par les stations (57) à (59) dont les résultats s'apparentent au type I. Les crues sont principalement générées par la fonte de neige. Cependant, de nombreux petits événements dus aux précipitations surviennent entre juillet et novembre, plus fréquemment en octobre.

Les stations (29), (47), (53) à (56) situées en Gaspésie et dans le bas Saint-Laurent présentent deux saisons hydrologiques distinctes. La saison reliée aux précipitations devient toutefois

faible pour un débit de base élevé, démontrant ainsi un comportement analogue au type I.

Les régions de l'Outaouais, des Laurentides, de Montréal, de la Mauricie et de Québec sont représentées par les stations (31) à (40) et (44) à (46). Pour ces stations, les crues printanières, dues à la fonte de neige et aux précipitations qui souvent l'accompagnent, dominent sur les crues d'été ou d'automne. La seconde saison, formée de ces dernières, est toutefois plus importante que pour les régions plus au nord et persiste en général, malgré l'augmentation du débit de base, dénotant ainsi un comportement de type II.

Situées plus au sud, les régions de l'Estrie et de la Beauce sont représentées par les stations (41) à (43) et (48) à (52). Pour ces stations, les excédances se répartissent sur presque toute l'année. On distingue la présence d'au moins deux saisons hydrologiques qui persistent malgré l'augmentation de Q_{base} si on se réfère aux graphes du nombre moyen d'excédances en fonction du temps. Dans certains cas, la seconde saison est aussi importante en terme d'amplitude que la saison reliée à la fonte. Les résultats de l'analyse de fréquence sont en général peu influencés par l'analyse saisonnière, de façon analogue au type II.

4.4.3 Ontario

Les résultats de l'analyse saisonnière et de l'analyse de fréquence des 23 stations hydrométriques sélectionnées en Ontario se trouvent à l'annexe D.

En Ontario, la fonte débute en mars, progresse vers le nord en avril et en mai pour finalement atteindre le bassin de la Baie d'Hudson en juin (CNRC, 1989), comme le démontrent les résultats obtenus. Les résultats de l'analyse saisonnière indique que les stations situées au sud de l'Ontario présente une seconde saison hydrologique qui débute généralement en octobre pour se terminer en décembre. L'Hydrologie des crues au Canada (CNRC, 1989) mentionne que les événements de précipitations intenses sont plus fréquents en juillet, l'importance des crues est cependant restreinte par l'épaisse végétation qui a pour effet d'accroître l'infiltration et la rétention de surface. C'est pourquoi l'influence des précipitations est plus importante lorsque la végétation est morte vers la fin de l'automne ou en hiver. Les stations situées sur la péninsule ontarienne sont le plus affectées par l'analyse saisonnière.

Les crues dans le nord de l'Ontario sont moins intenses que dans la partie sud à cause de l'effet régularisateur des nombreux lacs et marais. Les stations (88) à (91) témoignent de cet effet

régularisateur en ne présentant, en moyenne, pas plus de deux excédances par année, ainsi qu'une variabilité relativement faible. Malgré la présence de deux saisons hydrologiques distinctes, l'analyse saisonnière n'apporte que de légères variations dans les résultats. Dans le cas des stations (85) à (87), la seconde saison, moins importante, disparaît avec l'augmentation du débit de base, démontrant alors un comportement de type I, alors que les autres adoptent plutôt un comportement de type II.

4.4.4 Provinces des prairies

Les résultats de l'analyse saisonnière et de l'analyse de fréquence des 30 stations hydrométriques sélectionnées pour les provinces des prairies se trouvent à l'annexe E.

Les stations hydrométriques situées dans la partie nord du Manitoba, (114), (120) et (121), ainsi que les stations (113) et (108) respectivement situées en Saskatchewan et en Alberta, présentent moins de trois excédances par année. L'Hydrologie des crues au Canada (CNRC, 1989) mentionne que les rivières situées au nord du Manitoba, à l'exception des basses terres entourant la Baie d'Hudson, sont naturellement régularisées par les surfaces étendues d'emmagasinement, ce qui explique probablement cette particularité. La station (108) pour sa part, est vraisemblablement régularisée

par la présence du Petit Lac des Esclaves. Pour les stations (113), (114), (120) et (121), les séries de durée partielle laissent ressortir deux saisons hydrologiques distinctes qui persistent malgré l'augmentation de Q_{base}. A l'exception de la station (114), les résultats de l'analyse de fréquence sont influencés par le découpage en périodes homogènes et s'apparentent ainsi au comportement de type III.

Les stations de la partie sud du Manitoba sont situées sur des rivières qui drainent leurs eaux jusqu'aux Grands Lacs. Elles sont principalement affectées par la fonte de neige, accompagnée parfois d'une seconde saison hydrologique moins importante. Dans certains cas, l'analyse saisonnière entraîne néanmoins une modification des résultats de l'analyse de fréquence.

Les débits de pointe des stations hydrométriques longeant la chaîne des Rocheuses sont en général très variables. Le modèle des excédances semble alors avoir plus de difficultés à ajuster correctement les données, si on en juge par l'observation des données expérimentales par rapport à la courbe théorique. Pour ces stations, le découpage en périodes homogènes n'améliore pas les résultats puisque la grande majorité des excédances surviennent dans une période bien définie, entre les mois d'avril et juillet, surtout entre avril et juin. Par ailleurs, deux populations distinctes semblent prendre place à l'intérieur de cette période.

Le découpage selon les phénomènes générateurs pourrait dans un cas comme celui-ci fournir de meilleurs résultats. Il a donc été appliqué à la station (94) dont l'information météorologique était suffisamment complète. En observant le graphe illustrant le débit de pointe en fonction de la précipitation cumulée, il apparaît que l'élimination des amplitudes faibles des excédances causées par la fonte seule aurait tendance à diminuer le bruit causé par ces excédances lors de l'estimation du coefficient β relié au second phénomène, précipitation en période de fonte, et ainsi améliorer l'ajustement. La courbe d'analyse de fréquence démontre que l'ajustement à effectivement été amélioré. Les autres stations ne présentent malheureusement pas une information météorologique suffisante pour rendre possible le découpage selon les phénomènes générateurs, mais de toute évidence il semble que ce dernier fournirait un meilleur ajustement.

Dans le cas des stations (100) et (112), l'analyse de fréquence faisant suite à une analyse saisonnière ajuste mieux les données expérimentales. Notons que ces deux stations présentent deux saisons hydrologiques distinctes, qui persistent malgré l'augmentation du débit de base et que leurs coefficients de variation sont relativement élevés, soit respectivement 1.287 et 1.258.

Parmi les stations hydrométriques situées au centre de l'Alberta, les stations (102), (104), (107) et (110) sont affectées par l'analyse saisonnière. Toutefois, la variation des résultats de la station (102) ne repose que sur la diminution du coefficient β_2 par rapport au β annuel. La période 2 ne renfermant que trois excédances, les résultats présentent donc une grande part d'incertitude.

4.4.5 Colombie-Britannique

Les résultats de l'analyse saisonnière et de l'analyse de fréquence des 35 stations hydrométriques sélectionnées en Colombie-Britannique se trouvent à l'annexe F.

L'analyse saisonnière s'avère inutile pour les stations hydrométriques (137) à (153) à l'exception de (152),situées au sud-est de la province, en bordure des Rocheuses. Ces stations présentent une unique saison hydrologique rendant ainsi le découpage saisonnier superflu. Les crues surviennent le plus fréquemment en mai, juin et juillet, parfois en avril. Etant donnée la répartition des observations sur le graphe du débit de pointe en fonction de la précipitation cumulée, il semble inutile de faire une distinction entre les crues causées par la fonte seule et celles causées par les précipitations en période de fonte,

contrairement aux stations situées de l'autre côté des Rocheuses en Alberta.

En ce qui concerne les stations (154) à (156), situées au nord de la province, l'analyse saisonnière s'est également avérée inutile puisqu'une seule saison hydrologique domine sur la série. La station (154) présente un comportement hydrologique particulier, comme plusieurs autres stations situées dans le nord du Canada. Sa série de débits journaliers varie de façon beaucoup plus lente, et régulière. La période entre deux pointes indépendantes étant beaucoup plus élevée, ce qui fait qu'elle ne présente en moyenne, qu'un peu moins d'une excédance par année.

Les crues de la station (123) située sur l'île de Vancouver en bordure du Pacifique, surviennent principalement en octobre et février. Elles sont provoquées par de fortes précipitations pouvant atteindre jusqu'à 250 mm en 4 jours. Les résultats de l'analyse de fréquence ont été faiblement influencés par l'analyse saisonnière.

Les stations situées plus au centre de la province, entre la ligne côtière du Pacifique et les Rocheuses, présentent une saison hydrologique dominante, la période de fonte. Cette saison domine au niveau du nombre d'excédances survenues et de leur intensité. Elle s'accompagne généralement d'une seconde saison hydrologique

due aux précipitations, survenant en été, parfois même en automne. Cette seconde saison renferme des excédances de plus faible amplitude et devient négligeable ou nulle, dès que le débit de base est augmenté pour des raisons d'ajustement. Ces stations présentent donc un comportement de type I.

En Colombie-Britannique, l'analyse saisonnière a eu une influence réelle sur les résultats de l'analyse de fréquence des stations (134) et (135), situées respectivement sur les rivières Green et Lillooet. Dans les deux cas, la seconde saison hydrologique due aux précipitations survenant entre septembre et décembre, est plus importante en terme d'amplitude, il en résulte un comportement de type III. Signalons que ces deux stations se situent à l'intérieur de la région étudiée par Waylen (1981) et Waylen et Woo (1982, 1983a, 1983b et 1983c) pour laquelle ils concluent sur l'existance de deux populations distinctes découlant de deux phénomènes générateurs distincts.

4.4.6 Territoires du Yukon et du Nord-Ouest

Les résultats de l'analyse saisonnière et de l'analyse de fréquence des 10 stations hydrométriques sélectionnées au Yukon et dans les Territoires du nord-ouest se trouvent à l'annexe G.

Le tableau G.1 indique qu'en général, ces stations ont une variabilité relativement faible. La moitié d'entre elles, soit les stations (158), (162), (163), (165) et (166), présentent moins de trois excédances par année. Les événements se caractérisent alors par une montée et une décrue lentes et régulières. Comme pour les cas similaires déjà rencontrés, ceci peut s'expliquer par les faibles précipitations que présentent les régions du nord, ainsi qu'une période de fonte prolongée par des températures moyennes journalières moins élevées. L'effet régularisateur causé par la présence de réservoir naturel d'emmagasinement constitue également une explication. Selon l'Hydrologie des crues au Canada (CNRC, 1989), la particularité de la réponse hydrologique des régions le plus au nord, pourrait être associée aux effets du pergélisol. Il mentionne également que pour le territoire du Yukon, la cause la plus probable des crues est la fonte de neige qui parfois s'accompagne de précipitation. Pour les Territoires du Nord-Ouest, les maximums annuels sont pratiquement toujours occasionnés par la fonte, les plus importants étant associés aux déplacements des glaces ou aux blocages dûs aux glaces. Les résultats de l'analyse saisonnière ne font en effet ressortir qu'une seule saison hydrologique, celle-ci étant due à la fonte de neige. On remarque cependant parfois de rares événements survenant plus tard dans l'année. L'analyse saisonnière telle que pratiquée dans cette étude s'avère donc inutile pour cette partie du Canada.

CHAPITRE V

DISCUSSION

Une vue d'ensemble des résultats obtenus pour les différentes régions du Canada débute ce chapitre. Il s'agit principalement d'une synthèse des résultats présentés à la section 4.4 du chapitre précédent. Ce chapitre se poursuit avec une discussion portant sur les particularités de chacune des deux approches utilisées, soit le découpage selon les phénomènes générateurs de crues et le découpage en périodes homogènes. L'ajustement du modèle des excédances est finalement traité de façon générale et en relation avec l'analyse saisonnière.

5.1 VUE D'ENSEMBLE DES RESULTATS

L'analyse du caractère saisonnier des crues indique que pour les stations hydrométriques situées au nord du 55ième parallèle environ, il est inutile de procéder au découpage saisonnier de la série de débits. Les crues causées par la fonte de neige dominent largement. Par ailleurs, il arrive fréquemment que pour ces stations on observe en moyenne moins de trois excédances par année. L'hydrogramme de débits se caractérise alors par des montées et des décrues lentes et régulières. Tel que mentionné précédemment, ceci peut s'expliquer par les faibles précipitations des régions du nord, par une période de

fonte prolongée par des températures moyennes journalières peu élevées comparativement à celles des régions plus au sud, ainsi que par la présence de réservoirs naturels d'emmagasinement qui caractérisent souvent ces régions. Signalons finalement que les séries de débits de ces stations présentent des coefficients de variations relativement faibles.

Au sud du 55ième parallèle, on retrouve les trois comportements types décrits à la section 4.3. Le comportement de type I survient lorsqu'un processus générateur domine. L'analyse saisonnière fait alors ressortir une seconde saison hydrologique qui disparaît lorsque le débit de base est augmenté afin d'améliorer la qualité de l'ajustement. La majorité des stations de la Colombie-Britannique présente ce type de comportement. Près de la côte du Pacifique, les crues semblent être dominées par de fortes précipitations, si on en juge par la seule station de l'étude localisée à cet endroit. A l'intérieur des terres et à l'ouest des Rocheuses, les crues sont dominées par la fonte de neige. Du côté est des Rocheuses, en Alberta, les séries de débits des stations hydrométriques localisées à cet endroit sont également largement dominées par la fonte de neige qui constitue l'unique saison. Toutefois deux populations semblent prendre place à l'intérieur de cette période. Le découpage selon les phénomènes générateurs a été appliqué sur une de ces stations qui présentait une information météorologique suffisante. L'ajustement du modèle a été amélioré suite à ce découpage. De toute évidence, il

semble que ce type de découpage fournit un meilleur ajustement dans cette région. Le comportement de type I se retrouve également en Ontario pour les stations dont le bassin versant se draîne vers la baie d'Hudson, ainsi qu'au Québec, pour les régions du lac Saint-Jean, de la Gaspésie et du bas Saint-Laurent.

Les comportements de type II et III se caractérisent par la présence de deux saisons hydrologiques distinctes qui persistent malgré l'augmentation du débit de base. Pour le comportement de type II, l'ajustement du modèle des excédances n'est pas modifié par le découpage saisonnier tel que pratiqué dans cette étude, alors que pour le comportement de type III, les résultats de l'analyse de fréquence faisant suite au découpage saisonnier sont différents de l'analyse annuelle et fournissent dans la plupart des cas un meilleur ajustement aux données expérimentales. Les stations présentant les comportements de type II ou de type III cohabitent généralement à l'intérieur d'une même région contrairement aux stations présentant un comportement de type I qui délimitent des secteurs plus homogènes.

Le comportement de type III se retrouve surtout dans les provinces maritimes et au sud de l'Ontario, plus particulièrement sur la péninsule ontarienne. Plusieurs stations situées dans les provinces des prairies présentent ce type de comportement, mais de façon moins concentrée. L'écart entre la courbe d'analyse saisonnière et la courbe d'analyse annuelle a tendance à être plus prononcée lorsqu'il y a

présence d'événements rares à l'intérieur de la série de débits. Ce genre d'observations étant relativement fréquent dans les provinces maritimes, et survenant parfois dans les provinces des prairies, c'est à l'intérieur de ces régions que l'on peut observer les plus importantes variations concernant l'ajustement du modèle des excédances. Notons finalement que quelques stations situées au Québec et en Colombie-Britannique présentent également un comportement de type III. Il s'agit cependant de cas isolés. Il est intéressant de constater que les deux stations de la Colombie-Britannique, dont les résultats sont influencés par le découpage saisonnier, sont situées dans la région étudié par Waylen et Woo (1982, 1983a, 1983b et 1983c).

5.2 DECOUPAGE EN PERIODES HOMOGENES

Les critères de découpage ont été définis pour faire en sorte que les excédances soient homogènes en nombre et en amplitude à l'intérieur de chacune des périodes. A cette fin, l'histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude et du mois s'est avéré très utile. Tout comme pour le découpage selon les phénomènes générateurs de crues, l'appréciation de l'hétérogénéité entre les saisons hydrologiques ne s'est appuyée sur aucun test statistique satisfaisant. Néanmoins, puisqu'il s'agit ici d'une première approche visant à délimiter les secteurs les plus susceptibles d'être touchés par l'analyse saisonnière et à indiquer de façon globales les paramètres à

considérer lors d'une analyse saisonnière, la méthode conserve toute la rigueur nécéssaire.

Au Canada, la majorité des événements ont lieu en période de fonte de neige. Dans certaines régions, les crues causées par les précipitations peuvent aussi être importantes et forment ainsi une seconde saison hydrologique. Lorsque que les excédances contenues dans la période i sont de faibles amplitudes par rapport à celle de la période j, le découpage permet alors d'éliminer le bruit dû à ces faibles amplitudes lors de l'estimation du paramètre β_j.

On doit cependant être prudent lors de l'interprétation des résultats puisqu'il arrive parfois qu'à cause du découpage et de l'augmentation du débit de base, l'estimation de certains paramètres β se fasse sur un nombre assez restreint d'observations. Etant donné que dans le modèle un poids supérieur est généralement accordé à la population dont le β_i est le plus petit, plus l'écart est grand par rapport aux autres β_i, plus cette population influence le modèle. Il est donc important de vérifier le nombre d'excédances sur lequel se base les estimations. Notons que ce problème survient surtout pour ce type de découpage.

5.3 DECOUPAGE SELON LES PHENOMENES GENERATEURS DE CRUES

Cette approche visait à regrouper les crues selon les trois phénomènes générateurs principaux:

- fonte de neige
- précipitations en période de fonte;
- précipitations seules.

Ce type de découpage pose un problème en ce qui concerne l'hypothèse d'indépendance entre les phénomènes. Par contre, il ne serait pas physiquement réaliste de regrouper les deux premiers phénomènes puisque les crues survenues en période de fonte ont tendance à être plus importantes lorsqu'elles s'accompagnent d'un apport important de précipitations. De plus, les types d'orage survenant au printemps sont souvent différents du ou des types d'orages qu'on observe durant le reste de l'année.

Pour plusieurs stations, ce type de découpage n'a pu être réalisé parce que la période d'enregistrement de la station météorologique ne chevauchait pas suffisamment celle de la station hydrométrique. De plus, pour les bassins de grande superficie qui ne sont que faiblement représentés par une seule station météorologiques, il existe une certaine incertitude lors de l'interprétation du graphe du débit de pointe en fonction de la précipitation cumulée. Mis à part ces considérations, l'expérience a démontré que l'application de cette approche, telle que pratiquée dans cette étude, ne peut s'appliquer que pour un nombre restreint de stations. La plupart ne se prête guère à ce genre de découpage à cause de l'absence de deux populations distinctes à l'intérieur de la période de fonte, du moins si on en juge par le graphe illustrant le débit de pointe en fonction de la

précipitation cumulée. Le découpage par phénomènes n'a donc été appliqué que sur huit stations hydrométriques situées dans les provinces maritimes (1), au Québec (4), en Colombie-Britannique (2) et dans les provinces des prairies (1). Tel qu'il a été mentionné, c'est en Alberta, plus particulièrement à l'est des Rocheuses, que ce type de découpage était le plus susceptible d'améliorer les résultats. Malheureusement, les stations, à une exception près, ne possèdaient pas une information météorologique suffisamment complète.

5.4 AJUSTEMENT DU MODELE DES EXCEDANCES

5.4.1 Généralités

Le choix du débit de base est très important lors de l'analyse de fréquence puisque les fréquences calculées dépendent de la valeur fixée, comme le démontrent les figures 4.8, 4.11 et 4.14. Selon les résultats obtenus un débit de base relativement élevé, correspondant à une moyenne de 1.5 à 1 excédance par année, ajuste mieux les données expérimentales dans la majorité des cas.

5.4.2 Ajustement des lois de Poisson et exponentielle

D'après les résultats des tests statistiques d'ajustement, on remarque qu'en général, la loi exponentielle modélise de façon satisfaisante les amplitudes. Par contre, le test χ^2 rejete dans

une proportion de 50% environ, l'ajustement du dénombrement des crues par la loi de Poisson. Les graphes d'ajustement de la loi de Poisson par rapport aux données expérimentales présentés pour les trois exemples d'application du chapitre précédent, ont permis de faire ressortir la tendance à surestimer le nombre d'années pour lesquelles le nombre d'excédances est égal à zéro, et à sous-estimer le nombre d'années pour lesquelles le nombres d'excédances est égal à un. Cette tendance ne semble avoir aucun lien avec le débit de base fixé et, dans la plupart des cas, persiste malgré la variation du débit de base. Tel que mentionné au chapitre 2, la loi de Poisson n'est pas absolument nécessaire à l'application du modèle des excédances. Il présentent toutefois certains avantages mathématiques lors du calcul des intervalles de confiance. D'autres modèles, la loi binomiale négative par exemple, peuvent être utilisés à la place de la loi de Poisson. Néanmoins, des observations faites par Stedinger et al. (1986) entre autres, révèlent que le type de loi employée pour modéliser le dénombrement des crues affecte peu les résultats contrairement à la loi employée pour modéliser les amplitudes des crues qui est plus déterminante pour l'estimation du débit de pointe correspondant à une période de récurrence donnée.

5.4.3 Effets de l'étude saisonnière

Le fait de procéder au découpage de la série annuelle en un certain nombre de populations distinctes implique qu'au moins une de ces populations aura un coefficient que nous appelerons β_i^*, inférieur au coefficient β_0 de la série de durée partielle avant découpage; à moins que les β_k des différentes populations soient égaux. Les coefficients bêta étant soumis à une loi exponentielle, plus la différence entre β_i^* et β_0 augmente, plus la population associée à ce coefficient β_i^* a de poids dans le modèle comparativement aux autres populations et plus il y a décart entre les courbes de fréquence obtenues avec et sans découpage saisonnier. L'importance de cet écart est d'autant plus grande si la valeur λ^* correspondante est élevée. Pour de petites périodes de récurrence (10 ans et moins environ) il arrive que le débit issu de l'analyse saisonnière soit inférieur au débit issu de l'analyse annuelle. Par contre, pour des périodes de récurrence plus importantes, le rapport Q_s/Q_a est de plus en plus élevé. La courbe saisonnière est donc toujours au-dessus de la courbe annuelle pour des périodes de récurrence élevées.

Bien que cette particularité n'est pas toujours désirable, elle explique cependant pourquoi l'analyse saisonnière améliore l'ajustement du modèle des excédances par rapport aux données expérimentales de façon significative, surtout dans les cas où il y

a présence d'événements rares. Le découpage de la série de débits permet alors d'isoler l'événement rare à l'intérieur d'une population plus restreinte, lui conférant ainsi un poids dans le modèle. La présence d'événements rares est souvent révélée par un coefficient de variation élevé, à moins que le nombre d'observations ne soit particulièrement élevé.

Notons finalement que l'augmentation du débit de base a souvent pour effet de diminuer l'écart entre la courbe d'analyse saisonnière et la courbe d'analyse annuelle comme le démontrent les figures 4.8 et 4.11. Il est également possible que l'effet inverse se produise, tel qu'illustré à la figure 4.14.

CHAPITRE VI

CONCLUSION

La pertinence de l'analyse saisonnière a été démontrée à l'aide des résultats obtenus pour plusieurs stations hydrométriques situées principalement dans les provinces maritimes, au sud de l'Ontario et dans les provinces des prairies. Ces stations se localisent à l'intérieur de régions pour lesquelles au moins deux phénomènes distincts sont responsables des crues. Il est également essentiel que ces différents phénomènes persistent pour un débit de base élevé. L'amélioration des résultats de l'analyse de fréquence est surtout évidente pour les stations dont la série présente un ou plusieurs événements rares.

Pour les régions qui présentent un comportement de type II, il est probable que les caractéristiques des deux populations soient semblables. Il est toutefois également possible que le modèle des excédances dans sa forme actuelle, ne puisse distinguer les particularités de chacune des populations.

L'approche saisonnière exige toutefois l'estimation d'un nombre plus élevé de paramètres. De plus, le découpage de la série de débits a pour conséquence que l'estimation des paramètres λ_i et β_i se base sur un nombre inférieur d'observations, ce qui entraîne une plus grande

incertitude. L'utilisation d'une loi basée sur l'estimation de paramètres d'ordre supérieur aurait également pour effet d'améliorer l'ajustement aux données expérimentales. L'approche saisonnière est néanmoins plus réaliste parce qu'elle se base sur une étude physique plus approfondie.

Le découpage par périodes homogènes tel qu'appliqué dans cette étude présente un précieux avantage; celui de n'avoir besoin d'aucune autre source d'information que la série de débits. L'histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude et du mois constitue un outil efficace lors du découpage. L'hétérogénéité entre les périodes homogènes devrait toutefois être vérifiée à l'aide d'un test statistique qui tiendrait compte des variations du dénombrement et de l'amplitude des crues entre les diverses populations.

Du point de vue du comportement physique du phénomène de crue, le découpage selon les phénomènes générateurs constitue une approche plus rigoureuse que le découpage en périodes homogènes. Cependant, le découpage selon les phénomènes générateurs exige une information climatique beaucoup plus détaillée que celle utilisée dans cette étude. Cette information n'est d'ailleurs pas toujours disponible. Toutefois, maintenant que la pertinence de l'analyse saisonnière a été démontrée pour différentes régions au Canada, il serait intéressant d'approfondir davantage cette approche en définissant de nouveaux critères de découpage basés sur une information météorologique plus détaillée,

permettant de dissocier avec plus de raffinement les différents phénomènes responsables des crues.

Des travaux futurs pourraient également être effectués dans le but de vérifier quels sont les critères qui distinguent les bassins des régions de type I, II et III. La lattitude, la géomorphologie et la superficie du bassin versant, ainsi que certaines caractéristiques relatives à la série de débits pourraient alors être étudiés en relation avec le type de résultats obtenus.

REFERENCES

ARCHER, D.R., 1981. Seasonality of flooding and the assessment of seasonal flood risk. Proc. Instn Civ. Engrs, part 2, vol.70, décembre, pp.1023-1035.

ASHKAR, F. et B. BOBEE, 1985. Statistical analysis of annual flood series and partial duration series. INRS-Eau, rapport scientifique no.177, 123 pages.

ASHKAR, F. et J. ROUSSELLE, 1983. Some remarks on the truncation used in partial flood series models. Water Resour. Res., vol.19, no.2, pp.477-480.

ASHKAR, F. et J. ROUSSELLE, 1985. A look to seasonal trends in flood data at some gaging sites in Quebec with a special effort towards their incorporation into a probalistic model. Ecole Polytechnique de Montréal, EPM/RT-85-37, GREMU-85/06, 8 pages.

ASHKAR, F. et J. ROUSSELLE, 1987. Partial duration series modeling under the assumption of a Poissonian flood count. Journal of Hydrology, vol.90, no.1/2, pp.135-144.

BENJAMIN, J.R. et C.A. CORNELL, 1970. Probability, statistics, and decision for civil engineers. McGraw-Hill, Inc., New York, 684 pages.

BOUCHER, S., 1986. Analyse de données: Description et utilisation des banques de données physiographiques et hydrométriques. novembre, 61 pages; annexes A à G, 227 pages.

BRATER, E.F., SANGAL, S. et J.D. SHERRILL, 1974. Seasonal effects in flood synthesis. Water Resour. Res., vol.10, no.3, pp.441-445.

BRUCE, J.P. et R.H. CLARK, 1966. Introduction to hydrometeorology. Pergamon Press, Pergamon of Canada, Toronto, 319 pages.

CERVANTES, J.E., KAVVAS, M.L. et J.W. DELLEUR, 1983. A cluster model for flood analysis. Water Resour. Res., vol.19, no.1, pp.209-224.

CRAMER, H., 1946. Mathematical methods of statistics. Princeton University Press, Princeton, N.J., 575 pages.

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA (CNRC), 1989. Hydrologie des crues au Canada. Guide pour le calcul. Chapitre 3; caractéristiques des crues de diverses régions (à être publié en juin).

DALINSKY, J.S., 1970. An unconventional approach to flood frequency analysis. Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology, vol.15, no.3, septembre, pp.55-59.

DAIRYMPLE, T., 1960. Flood-frequency analysis. U.S. Geol. Surv. Water Supply Pap., 1543-A, 80 pages.

DURRANT, E.F., 1959. Discussion on practical flood frequency analysis. Proceedings of Hydrology Symposium no.1, Spillway Design Floods, N.R.C., Ottawa, pp.96-99.

GUPTA, V.K., DUCKSTEIN, L. et R.W. PEEBLES, 1976. On the joint distribution of the largest flood and its time of occurrence. Water Resour. Res., vol.12, no.2, pp.295-304.

GUPTA, V.K. et E.L. WAYMIRE, 1979. A stochastic kinematic study of subnoptic space-time rainfall. Water Resour. Res., vol.15, no.3, pp.637-644.

HAAN, C.T., 1977. Statistical methods in hydrology. The Iowa State University Press, 378 pages.

HALD, A., 1952. Statistical theory with engineering applications. John Wiley & Sons, Inc., New York, 783 pages.

HALTINER, J.P., 1985. Stochastic modeling of seasonal and daily streamflow. Thèse de doctorat, Colorado State University, 277 pages.

HARVEY, A.M., 1971. Seasonal flood behaviour in a clay catchment. Journal of Hydrology, vol.12, no.2, pp.129-144.

HIRSCHBOECK, K.K., 1985. Hydroclimatology of flow events in the Gila river basin, central and southern Arizona. Thèse de doctorat, University of Arizona, 335 pages.

KAVVAS, M.L., 1980. Stochastic trigger models for flood peaks. Assoc. Prof. thesis, The Turkish Inter-University Jury on Stochastic Processes, M.E.T.U., Ankara, Turkie, avril.

KAVVAS, M.L., 1982a. Stochastic trigger model for flood peaks, 1. Development of the model. Water Resour. Res., vol.18, no.2, pp.383-398.

KAVVAS, M.L., 1982b. Stochastic trigger model for flood peaks, 2. Application of the model to the flood peaks of Goksu-Karahicili. Water Resour. Res., vol.18, no.2, pp.399-411.

KAVVAS, M.L. et J.W. DELLEUR, 1975. The stochastic and chronological structure of rainfall sequences: application to Indiana. Tech. Rep. no.57, Purdue University Water Resour. Center, West Lafayette, Ind..

KAVVAS, M.L. et J.W. DELLEUR, 1981. A stochastic cluster model of daily rainfall sequences. Water Resour. Res., vol.17, no.4, pp.1151-1160.

LAMBERTI,P. et S. PILATI, 1985. Probability distributions of annual maxima of seasonal hydrological variables. Journal of Hydrological Sciences, vol.30, no.1, pp.111-135.

LANGBEIN, W.B., 1949. Annual floods and the partial duration series, Transactions, American Geophysical Union, vol.30, no.6, pp.879-881.

MIQUEL, J., 1984. Guide pratique d'estimation des probabilités de crues. Collection de la direction des études et recherches d'Electricité de France, Editions Eyrolles, Paris, 160 pages.

MIQUEL, J. et J. BERNIER, 1981. Sûreté des centrales et état de la mer. Electricité de France, Bulletin de la Direction des Etudes et Recherches, Série A, Nucléaire, Hydraulique, Thermique no.2, pp.73-78.

NORTH, M., 1980. Time-dependent stochastic model of floods. J. Hydraul. Div. Am. Soc. Civ. Eng., vol.106, no.HY5, pp.649-655.

ROUSSELLE, J., 1972. On some problems of flood analysis. Thèse de doctorat, Colorado State University, Fort Collins, 134 pages.

ROUSSELLE, J. et N. EL-JABI, 1977. Représentation stochastique des dommages dans les plaines inondables. Revue Canadienne de Génie Civil, vol.4, no.2, pp.170-177.

SHANE, R.M. et W.R. LYNN (1964). Mathematical model for flood risk evaluation. J. Hydraul. Div. Amer. Soc. Civil Eng., vol.90(HY6), pp.1-20.

SLIVITZKY, M., 1966. Discussion on appraisal of methods of analysis. Proceedings of Hydology Symposium no.5, Statistical Methods in Hydrology, N.R.C., Ottawa, p.194.

STEDINGER, J.R., THERIVEL, R., GRYGIER, J. ET R. WU (1986). Analysis of the frequency of large floods on the Salt and Verde rivers using historical and paleoflood information. Report to the Salt River Project, Phoenix Arizona, Dep. of Envir. Engr., Cornell University, Ithaca N.Y..

STODDART, R.B.L. et W.E. WATT, 1970. Flood frequency prediction for intermediate drainage basins in southern Ontario. Queen's University, Kingston, C.E. Research Report no.66, juillet, 63 pages.

TAESOMBUT, V. et V. YEVJEVICH, 1978. Use of partial flood series for estimating distribution of maximum annual flood peak. Hydrology papers no.97, Colodorado State University, Fort Collins, 71 pages.

TODOROVIC, P., 1970. On some problems involving random number of random variables. Ann. Math. Statist., vol.41, no.3, pp.1059-1063.

TODOROVIC, P., 1978. Stochastic models of floods. Water Resour. Res., vol.14, no.2, pp.345-356.

TODOROVIC, P., 1982. Stochastic modeling of floods. Statistical Analysis of Rainfall and Runoff, Proceedings of the International Symposium on Rainfall-Runoff Modeling tenu en mai 1981 à l'Université du Mississippi, Water Resources Publications, pp.597-636.

TODOROVIC, P. et J. ROUSSELLE, 1971. Some problems of flood analysis. Water Resour. Res., vol.7, no.5, pp.1144-1150.

TODOROVIC, P. et D.A. WOOLHISER, 1972. On the time when the extreme flood occurs. Water Resour. Res., vol.8, no.6, pp.1433-1438.

TODOROVIC, P. et E. ZELENHASIC, 1970. A stochastic model for flood analysis. Water Resour. Res., vol.6, no.6, pp.1641-1648.

U.S. WATER RESOURCES COUNCIL, 1976. Guidelines for determining flood flow frequency, Hydrology Committee, bulletin 17, Washington, D.C., 26 pages.

VERSACE, P., FLORENTINO, M. et F. ROSSI, 1982. Analysis of flood series by stochastic models. A.H. El-Shaarawi et S.R. Esterby (Editeurs), Time series methods in hydrosciences, Elsevier, Amsterdam, pp.315-324.

WATT, W.E. et R.B.L. STODDART, 1971. Frequency of snowmelt floods for intermediate drainage basins in southern Ontario. Proc. Canadian Hydrology Symposium 8 : Runoff from snow and ice, vol.2, NRCC, Québec, pp.130-134.

WAYLEN, P., 1981. Analysis of highflows in the Fraser river catchment, British Columbia. Thèse de doctorat, McMaster University, 137 pages.

WAYLEN, P., 1985. A method of predicting daily peak flows in the high-flow season. Journal of Hydrology, vol.77, no.1/4, pp.89-105.

WAYLEN, P. et M. WOO, 1982. Prediction of annual floods generated by mixed processes. Water Resour. Res., vol.18, no.4, pp. 1283-1286.

WAYLEN, P. et M. WOO, 1983a. Annual floods in southwestern British Columbia, Canada. Journal of Hydrology, vol.62, no.1/4, pp.95-105.

WAYLEN, P. et M. WOO, 1983b. Stochastic analysis of high flows in some central British Columbia rivers. Revue Canadienne de Génie Civil, vol.10, no.2, pp.205-213.

WAYLEN, P. et M. WOO, 1983c. Stochastic analysis of high flows generated by mixed processes. Revue Canadienne de Génie Civil, vol.10, no.4, pp.639-648.

WOO, M. et P. WAYLEN, 1983. Prediction of annual floods in northern Ontario basins. McMaster University, TASO report no.2, 15 pages.

A N N E X E A

Liste des stations hydrométriques et météorologiques sélectionnées

Tableau A.1 - Liste des stations hydrométriques considérées dans les provinces maritimes

No. carte	No. et identification de la station hydrométrique	Aire du bassin km^2	Période d'observation	Nbr. années obs.	No. et identification de la station météorologique	Nbr.de jours antér.
	Nouveau-Brunswick					
1	01AD002 Saint John river at Fort Kent	14 730	jan27-déc84	58	7056600 Rivière Bleue	10
2	01AD003 St.Francis river at outlet of Glasier Lake	1 350	jan52-déc84	33	7056600 Rivière Bleue	4
3	01AK001 Shogomoc stream near Trans Canada Highway	234	jan19-déc40 jan44-déc84	63	8100775 Canterbury	3
4	01AP002 Canaan river at East Canaan	668	jan26-déc40 jan63-déc84	37	8101280 East Canaan	4
5	01AQ001 Lepreau river at Lepreau	238	jan19-déc84	66	8103400 Musquash	3
6	01BE001 Upsalquitch river at Upsalquitch	2 270	jan19-déc32 jan44-déc84	55	7056814 St.Alexis de Matapédia	4
7	01BJ001 Tetagouche river near West Bathurst	362	juil22-juin33 jan52-déc84	44	8100500 Bathurst	3
8	01BO001 Southwest Miramichi river at Blackville	5 050	jan19-déc32 oct38-sept39 jan62-déc84	38	8104300 Renous	6
9	01BP001 Little Southwest Miramichi river at Lyttleton	1 340	jan52-déc84	33	8104300 Renous	4
	Nouvelle-Ecosse					
10	01DB002 Bear river east branch at Bear river	193	juin17-mai51	34	---	--
11	01DC003 Paradise Brook near Paradise	94	oct16-sept49	33	---	--

Tableau A.1 - Suite

No. carte	No. et identification de la station hydrométrique	Aire du bassin km^2	Période d'observation	Nbr. années obs.	No. et identification de la station météorologique	Nbr.de jours antér.
12	01DG003 Beaver river near Kinsac	97	jan22-déc84	43	8202250 Halifax Int A	3
13	01DR001 South river at St.Andrews	177	avr17-mars33 jan66-déc84	35	8201000 Collegeville	3
14	01EC001 Roseway river at lower Ohio	494	jan18-déc84	67	8204600 Roseway	3
15	01EF001 La Have river at West Northfield	1 253	jan16-déc84	69	8200600 Bridgewater	4
16	01EH003 East river at St. Margaret's Bay	27	jan26-déc84	59	8204800 St Margaret's Bay	2
17	01EK001 Musquodoboit river at Crawford Falls	650	jan16-déc84	69	8202250 Halifax Int A	4
18	01EO001 St. Marys river at Stillwater	1 354	jan16-déc84	69	8205600 Stillwater	4
19	01FB001 Northeast Margaree river at Margaree valley	368	août16-juil20 jan21-déc84	68	8203425 Margaree Harbour	3
20	01FB003 Southwest Margaree river near upper Margaree	357	jan19-déc84	66	8200155 April Brook IHD	3
21	01FH001 Grand river at Loch Lomond	120	jan21-déc84	64	8203150 Loch Lomond +8203151	3
	Terre-Neuve					
22	02YL001 Upper Humber river near Reidville	2 110	jan30-déc33 juin37-mai50 jan52-déc84	50	8401500 Deer Lake	4

Tableau A.1 - Suite et fin

no. carte	no. et identification de la station hydrométrique	Aire du bassin km^2	période d'observation	nbr. années obs.	no. et identification de la station météorologique	nbr.de jours antér.
23	02YQ001 Gander river at Big chute	4 400	jan50-déc84	35	8401800 Glenwood	5
24	02YS001 Terra Nova river at Eight Mile bridges	1 290	jan53-déc84	32	8403852 Terra Nova Nat. Park HQ	4
25	02ZF001 Bay du Nord river at Big falls	1 170	mars51-fév80 jan81-déc84	33	8400415 Bay d'Espoir St Albans	4
26	02ZH001 Pipers Hole river at Mothers Brook	764	jan53-déc84	32	8403852 Terra Nova Nat. Park HQ	4
27	02ZK001 Rocky river near Colinet	285	jan50-déc84	35	8401200 Colinet	3
28	02ZM006 Northeast Pond river at Northeast Pond	4	jan54-déc84	31	8403875 Topsail	2

Tableau A.2 - Liste des stations hydrométriques considérées au Québec

No. carte	No. et identification de la station hydrométrique	Aire du bassin km^2	Période d'observation	Nbr. années obs.	No. et identification de la station météorologique	Nbr.de jours antér.
29	01BH002 Rivière York à Sunny Bank	1 010	oct45-sept81	36	7052600 Gaspé	4
30	02JB004 Rivière Kinojevis en aval du lac Preissac	1 026	juil39-juin72	33	7090120 Amos	4
31	02KG001 Rivière Coulonge près de Fort-Coulonge	5 154	déc26-nov34 oct35-sept84	57	7032440 Fort Coulonge	6
32	02LC004 Rivière Rouge +02LC007 près de la Macaza	2 574	oct25-sept82	57	7033160 Huberdeau	4
33	02LC002 Rivière Rouge +02LC029 en aval de la chute Bell	5 465	déc18-nov31 oct44-sept58 oct65-sept84	46	7030640 Bell Falls	6
34	02ND002 Rivière Vermillon +02ND001 près de la rivière Saint-Maurice	2 668	jan25-déc25 juin26-mai84	59	7070450 Barrage Circoncine	4
35	02NF003 Rivière Matawin à St.Michel-des-Saints	1 650	jan32-déc39 jan42-déc42 oct43-sept84	50	7017080 St. Côme	4
36	020B001 Rivière l'Assomption à Saint-Côme	549	juin15-mai72	57	7013360 Joliette	4
37	020B002 Rivière l'Assomption +020B007 à Joliette no.2	1 336	jan22-déc69	48	7013360 Joliette	4
38	020B003 Rivière Ouareau +020B017 aux chutes Darwin	1 274	oct20-sept84	64	7013360 Joliette	4
39	020C002 Rivière Maskinongé près de Sainte-Ursule	1 028	juil25-juin72 oct79-sept84	52	7014332 Louiseville	4
40	020C001 Rivière du Loup +020C005 près de Saint-Paulin	1 380	jan24-déc70	47	7016840 Ste Anne de la Pérade	4

Tableau A.2 - Suite

No. carte	No. et identification de la station hydrométrique	Aire du bassin km^2	Période d'observation	Nbr. années obs.	No. et identification de la station météorologique	Nbr.de jours antér.
41	020D001 Rivière Nicolet Sud-Ouest près d'Asbestos	544	oct29-sept84	55	7020360 Asbestos	4
42	020E018 Rivière Hall près d'East Hereford	218	jan49-déc85	37	7022280 East Angus	3
43	020E026 Rivière Eaton +020E013 près de la rivière +020E027 Saint-François	642	oct32-sept84	52	7022280 East Angus	4
44	02PA003 Rivière Batiscan à la centrale de Saint-Narcisse	4 584	jan32-déc84	53	7016840 Ste Anne de la Pérade	5
45	02PA001 Rivière Batiscan +02PA007 en aval de la rivière des Envies	4 400	oct23-sept42 oct67-sept84	36	7016840 Ste Anne de la Pérade	5
46	02PD002 Rivière Montmorency en aval du barrage des Marches Naturelles	1 101	oct25-sept39 jan65-déc80 oct81-sept84	33	7055210 Montmagny	4
47	02PG002 Rivière Ouelle +02PG018 à la route no.230 +02PG019	802	mars21-fév81	60	7054095 La Pocatière CDA	4
48	02PH001 Rivière du Sud +02PH010 à Arthurville	826	oct23-sept84	61	7055210 Montmagny	4
49	02PH004 Rivière Etchemin +02PH011 à Saint-Henri-de-Lévis	1 130	août28-juil79 oct80-sept84	55	7027840 Scott	4
50	02PJ005 Rivière Chaudière à Saint-Lambert-de-Lévis	5 820	oct15-sept26 oct36-sept84	59	7027840 Scott	6
51	02PJ007 Rivière Beaurivage à Sainte-Etienne	709	oct25-sept84	59	7027840 Scott	4

Tableau A.2 - Suite

No. carte	No. et identification de la station hydrométrique	Aire du bassin km^2	Période d'observation	Nbr. années obs.	No. et identification de la station météorologique	Nbr.de jours antér.
52	02PL001 Rivière Bécancour à Lyster	1 410	jan22-déc68	47	7027840 Scott	4
53	02QA001 Rivière des Trois-Pistoles	932	oct23-sept84	61	7058560 Trois Pistoles	4
54	02QB001 Rivière Matane près de Matane	1 650	oct26-sept84	58	7054640 Matane	4
55	02QB003 Rivière Blanche +02QB005	208	oct33-sept84	51	7054640 Matane	3
56	02QC001 Rivière Madeleine à rivière-la-Madeleine	1 200	mai54-avr67 oct67-sept84	30	7055200 Mont Louis	4
57	02RD002 Rivière Mistassibi	9 350	jan61-déc61 oct62-sept84	23	7064998 Mistassini	8
58	02RD003 Rivière Mistassini en amont de la rivière Mistassibi	9 713	oct62-sept84	22	7060080 Albanel	8
59	02RF001 Rivière Chamouchouane à la chute à Michel	15 333	oct62-sept84	22	7060080 Albanel	12
60	02VA001 Rivière au Tonnerre	684	mai49-avr70 jan71-déc71 oct72-sept84	34	704FEG0 Rivière au Tonnerre	4
61	02VC001 Rivière Romaine	13 028	oct56-sept84	28	7043012 Havre StPierre	10
62	03AC001 Rivière Bell +03AC005 à Senneterre	1 990	juil27-juin72	45	7097888 Senneterre +7097900	4
63	03AC002 Rivière Megiscane en +03AC007 amont du lac Parent	8 310	jan25-déc40 mai54-avr83	44	7097888 Senneterre +7097900	8
64	03HA009 Rivière Hamelin près +03HA012 de la rivière Arnaud	4 132	oct62-sept84	22	7111080 Cape Hopes Advance	5

Tableau A.2 - Suite et fin

No. carte	No. et identification de la station hydrométrique	Aire du bassin km^2	Période d'observation	Nbr. années obs.	No. et identification de la station météorologique	Nbr.de jours antér.
65	03KC004 Rivière aux Mélèzes près de la rivière Koksoak	42 538	août62-juil82 oct83-sept84	21	7113534 Kuujjuaq A	15
66	03LF002 Rivière Caniapiscau à la chute de la Pyrite	86 929	oct62-sept84	22	7113534 Kuujjuaq A	15
67	03MC002 Rivière à la Baleine près de l'embouchure	29 567	oct62-sept84	22	7113534 Kuujjuaq A	14
68	04NA002 Rivière Harricana +04NA001 à Amos	3 703	oct14-sept84	70	7090120 Amos	5

Tableau A.3 - Liste des stations hydrométriques considérées en Ontario

No. carte	No. et identification de la station hydrométrique	Aire du bassin km^2	Période d'observation	Nbr. années obs.	No. et identification de la station météorologique	Nbr.de jours antér.
69	02AB008 Neebing river near Thunder Bay	187	jan54-déc84	31	6048261 Thunder Bay A	3
70	02EA005 North Magnetawan river near Burk's falls	321	jan16-déc84	69	6111045 Burk's falls	3
71	02EC002 Black river near Washago	1 445	jan16-déc84	69	6119325 Washago	4
72	02ED003 Nottawasaga river near Baxter	1 180	jan49-déc84	36	6110216 Alliston	4
73	02FB007 Sydenham river near Owen Sound	181	nov15-oct26 jan48-déc84	48	6116128 Owen Sound +6116132 Owen Sound Moe	3
74	02FC001 Saugeen river near Port Elgin	3 960	jan15-déc84	70	6127887 Southampton	5
75	02FC002 Saugeen river near Walkerton	2 150	jan15-déc84	70	6129235 Walkerton	4
76	02FC011 Carrick creek near Carlsruhe	163	jan54-déc84	31	6113329 Hanover	3
77	02FF002 Ausable river near Springbank	865	jan47-déc84	38	6144665 Lucan	4
78	02GA010 Nith river near Canning	1 008	oct13-sept17 oct20-sept23 jan48-déc84	44	6144232 Kitchener	4
79	02GA018 Nith river at New Hamburg	552	jan51-déc84	34	6144232 Kitchener	4
80	02GD010 Fish creek near Pospect Hill	150	jan52-déc84	33	6148100 Stratford +6148105 Stratford Moe	3
81	02GG002 Sydenham river near Alviston	730	jan49-déc84	36	6120250 Alviston	4

Tableau A.3 - Suite et fin

No. carte	No. et identification de la station hydrométrique	Aire du bassin km^2	Période d'observation	Nbr. années obs.	No. et identification de la station météorologique	Nbr.de jours antér.
82	02HC009 East Humber river near Pine Grove	197	jan54-déc84	31	6158443 Toronto Downsview A	3
83	02KB001 Petawawa river near Petawawa	4 120	jan16-déc84	69	6106400 Petawawa Nat Forestry	5
84	02LB007 South Nation river at Spencerville	246	août49-juil56 jan58-déc84	34	6104025 Kemptville	3
85	04JA002 Kabinakagami river at Highway no.11	3 780	jan51-déc84	34	6075024 Mattice TCPL	5
86	04JC003 Shekak river at highway no.11	3 290	jan51-déc84	34	6053570 Hornepayne	5
87	04LJ001 Missinaibi river at Mattice	8 940	jan21-déc84	64	6075024 Mattice TCPL	8
88	05PA006 Namakan river at outlet of lac La Croix	13 400	jan22-déc84	63	6025203 Mine Centre	10
89	05PB014 Turtle river near Mine Centre	4 870	nov14-oct15 nov16-oct18 jan21-déc78 oct80-sept82 jan83-déc84	65	6025203 Mine Centre	5
90	05QA001 English river near Sioux Lookout	13 900	jan22-déc84	60	6037775 Sioux Lookout A	10
91	05QE009 Sturgeon river at outlet of Salvesen lake	1 530	jan61-déc63 jan65-déc84	23	6012198 Ear falls	4

Tableau A.4 - Liste des stations hydrométriques considérées dans les provinces des prairies

No. carte	No. et identification de la station hydrométrique	Aire du bassin km^2	Période d'observation	Nbr. années obs.	No. et identification de la station météorologique	Nbr.de jours antér.
	Alberta					
92	05AA022 Castle river near Beaver Mines	826	jan45-déc49 jan51-déc84	39	3051310 Carbondale LO	4
93	05AA023 Oldman river near Waldron's corner	1 448	jan50-déc84	35	3056250 Sugarloaf LO	4
94	05AD003 Walkerton river near Waterton Park	614	juin11-mai31 jan48-déc84	57	3054722 Mountain View Birdseye	4
95	05BA001 Bow river at lake Louise	428	oct10-sept20 mai64-avr72 jan73-déc74 jan76-déc84	29	3053760 Lake Louise	3
96	05BB001 Bow river at Banff	2 222	jan11-déc84	74	3050520 Banff	4
97	05BJ005 Elbow river above Glenmore Dam	1 220	jan34-déc77	44	3052270 Elbow RS	4
98	05CE001 Red Deer river at Drumheller	25 019	jan16-déc22 jan59-déc84	33	3022139 Drumheller City	14
99	05DB001 Clearwater river near Rocky Mountain House	3 134	jan14-déc30 sept53-août75	39	---	--
100	06AD006 Beaver river at Cold lake Reserve	14 057	jan56-déc84	29	3081680 Cold lake A	10
101	07AA002 Athabasca river near Jasper	3 859	nov13-oct22 juil23-juin31 jan70-déc84	32	3053520 Jasper	5
102	07AF002 McLeod river above Embarras river	2 528	jan55-déc84	30	3065505 Robb RS	4

Tableau A.4 - Suite

No. carte	No. et identification de la station hydrométrique	Aire du bassin km^2	Période d'observation	Nbr. années obs.	No. et identification de la station météorologique	Nbr.de jours antér.
103	07AG001 McLeod river near Wolf creek	6 179	déc14-nov23 mars30-fév31 nov57-oct69 avr70-mars84	36	3062240 Edson +3062241	7
104	07AG003 Wolf creek at Highway no.16A	907	jan55-déc84	30	3067620 Wolf LO	4
105	07BB002 Pembina river near Entwistle	4 429	jan15-déc22 jan55-déc84	38	3064640 Moon lake	5
106	07BC002 Pembina river at Jarvie	12 631	jan62-déc84	23	3061200 Campsie	10
107	07BE001 Athabasca river at Athabasca	76 664	mai13-avr31 jan52-déc84	51	3060320 Athabasca	15
108	07BK006 Lesser Slave river at Highway no.2A	14 737	jan64-déc84	21	3066001 Slave lake A	10
109	07CD001 Clearwater river at Draper	30 562	jan58-déc84	27	3062693 Fort McMurray A	15
110	07GJ001 Smoky river at Watino	47 915	nov15-oct21 jan56-déc84	35	3077245 Watino +3077246	15
111	07HC001 Notikewin river at Manning	4 688	jan62-déc84	23	3074183 Manning RS	5
	Saskatchewan					
112	05FE001 Battle river near Unwin	26 281	jan50-déc79	30	3015500 Rivercourse	14
113	05KG002 Sturgeon-Weir river at outlet or Amisk lake	14 349	jan60-déc84	25	5050920 Flin Flon	10

Tableau A.4 - Suite et fin

No. carte	No. et identification de la station hydrométrique	Aire du bassin km^2	Période d'observation	Nbr. années obs.	No. et identification de la station météorologique	Nbr.de jours antér.
	Manitoba					
114	04AC005 Gods river at outlet of Gods lake	25 900	nov33-oct35 jan37-déc44 jan48-déc84	47	5061376 Island lake A	14
115	05LC004 Red Deer river near the Mouth, lake Winnipegosis	13 569	oct59-sept60 jan64-déc84	22	5042800 Swan river	10
116	05LE001 Swan river at Swan River	3 997	nov12-oct29 oct50-sept60	27	5042800 Swan river	5
117	05MD005 Shell river near Inglish	2 019	jan56-déc84	29	5012520 Russel	4
118	05OE004 Rat river near Sundown	415	jan61-déc84	24	5023149 Whitemouth lake	3
119	05PH003 Withemouth river near Whithemouth	3 520	jan56-déc84	29	5023149 Whitemouth lake	5
120	05TB002 Glass river at Wekusko falls	3 238	jan58-déc84	27	5050620 Cranberry Portage	5
121	05TD001 Grass river above Standing Stone falls	15 618	jan60-déc84	25	5062922 Thompson A	12

Tableau A.5 - Liste des stations hydrométriques considérées en Colombie-Britannique

No. carte	No. et identification de la station hydrométrique	Aire du bassin km^2	Période d'observation	Nbr. années obs.	No. et identification de la station météorologique	Nbr.de jours antér.
122	08EE004 Bulkley river at Quick	7 252	jan31-déc31 jan46-déc84	40	1076638 Quick	7
123	08HB014 Sarita river near Bamfield	161	juil49-juin73 jan76-déc84	32	1035940 Pachena Point	3
124	08JB002 Stellako river at Glenannan	3 885	oct29-sept30 jan50-déc84	36	1092678 Endako Savory	5
125	08KA004 Fraser river at Hansard	18 285	jan53-déc84	32	1090300 Aleza lake	12
126	08KB001 Fraser river at Shelley	32 375	jan51-déc84	34	1096450 Prince George A	15
127	08KH003 Cariboo river below Kangaroo creek	3 393	oct26-sept31 jan33-déc33 jan35-déc37 sept39-août55 jan59-déc64 jan66-déc84	50	1090660 Bakerville	5
128	08KH006 Quesnel river near Quesnel	12 147	jan42-déc42 jan46-déc84	40	1096630 Quesnel A	10
129	08LA001 Clearwater river near Clearwater Station	10 231	juin14-mai19 jan22-déc22 avr23-mars28 jan51-déc84	45	1160899 Blue river A	10
130	08LA004 Murtle river above Dawson falls	1 308	oct26-sept31 jan54-déc54 jan58-déc83	32	1160899 Blue river A	4
131	08LB022 North Thompson river near Barriere	18 234	déc16-nov58	42	1160670 Barriere	12

Tableau A.5 - Suite

No. carte	No. et identification de la station hydrométrique	Aire du bassin km^2	Période d'observation	Nbr. années obs.	No. et identification de la station météorologique	Nbr.de jours antér.
132	08LF051 Thompson river near Spences bridge	55 944	jan52-déc84	33	1160540 Ashcroft M +1160511 Ashcroft +1160520 Ashcroft North	15
133	08MA002 Chilko river at outlet of Chilko lake	1 974	jan30-déc32 déc34-nov42 jan45-déc46 jan50-déc51 jan66-déc66 jan69-déc84	32	1088010 Tatlayoko lake	4
134	08MG003 Green river near Pemberton	855	jan14-déc20 oct22-sept51	36	1086090 Pemberton Meadows	4
135	08MG005 Lillooet river near Pemberton	2 072	jan14-déc18 jan24-déc24 jan26-déc26 jan29-déc84	63	1086090 Pemberton Meadows	4
136	08NA002 Columbia river at Nicholson	6 656	jan17-déc69 jan71-déc84	67	1173210 Golden	7
137	08NB005 Columbia river at Donald	9 583	jan45-déc84	40	1172525 Donald	8
138	08NE001 Incomappleux river near Beaton	1 002	jan53-déc84	32	1177290 Sidmouth	4
139	08NE008 Beaton creek near Beaton	100	juin52-mai72 jan73-déc84	32	1177290 Sidmouth	3
140	08NE039 Big Sheep creek near Rossland	363	oct29-sept30 jan50-déc84	36	1146870 Rossland	3
141	08NF001 Kootenay river at Kootenay Crossing	414	jan45-déc46 jan48-déc48 jan51-déc58 jan60-déc84	36	1154400 Kootenay NP Kootenay CRSG	3

Tableau A.5 - Suite

No. carte	No. et identification de la station hydrométrique	Aire du bassin km^2	Période d'observation	Nbr. années obs.	No. et identification de la station météorologique	Nbr.de jours antér.
142	08NG005 Kootenay river at Wardner	13 468	jan14-déc14 jan17-déc31 déc32-nov72	57	---	--
143	08NG012 St. Mary river at Wycliffe	2 388	jan47-déc50 jan52-déc84	37	1154200 Kimberley A	4
144	08NG042 Kootenay river at Newgate	20 021	jan31-déc71	41	1155490 Newgate	14
145	08NG046 St. Mary river near Marysville	1 476	jan46-déc46 jan49-déc84	37	1154200 Kimberley A	4
146	08NG053 Kootenay river near Skookumchuck	7 200	jan50-déc84	35	1154400 Kootenay NP Kootenay CRSG	7
147	08NH001 Duncan river near Howser	2 111	jan15-déc18 mai34-avr67	37	1151290 Canal Flats	4
148	08NH006 Moyie river at Eastport	1 476	jan15-déc15 jan30-déc84	56	1144230 Kingsgate	4
149	08NH007 Lardeau river at Marblehead	1 580	jan18-déc18 jan46-déc84	40	1144580 Lardeau	4
150	08NJ013 Slocan river near Crescent valley	3 289	jan14-déc14 jan25-déc84	61	1142130 Crescent valley	5
151	08NJ014 Slocan river at Slocan city	1 658	oct16-sept22 jan45-déc68	30	1145460 New Denver	4
152	08NL007 Similkameen river at Princeton	1 839	oct16-sept17 avr39-mars43 jan45-déc84	45	1126510 Princeton A	4
153	08NP001 Flathead river near Flathead	1 166	jan52-déc81 jan83-déc84	32	1153282 Grasmere	4

Tableau A.5 - Suite et fin

No. carte	No. et identification de la station hydrométrique	Aire du bassin km^2	Période d'observation	Nbr. années obs.	No. et identification de la station météorologique	Nbr.de jours antér.
154	09AA006 Atlin river near Atlin	6 527	jan51-déc84	34	1200560 Atlin	7
155	10BE001 Liard river at Lower Crossing	104 377	nov47-oct53 nov55-oct56 nov57-oct64 jan66-déc84	33	1195250 Muncho lake	16
156	10CB001 Sikanni Chief river near Fort Nelson	2 072	nov45-oct49 oct57-sept63 jan65-déc84	30	1180750 Beatton river A	4

Tableau A.6 - Liste des stations hydrométriques considérées dans les territoires du Yukon et du Nord-Ouest

No. carte	No. et identification de la station hydrométrique	Aire du bassin km^2	Période d'observation	Nbr. années obs.	No. et identification de la station météorologique	Nbr.de jours antér.
	Yukon					
157	09AB008 M'Clintock river near Whitehorse	1 546	jan56-déc62 jan66-déc84	26	2101100 Teslin A	4
158	09AE001 Teslin river near Teslin	30 303	jan48-déc84	37	2101100 Teslin A	15
159	09BC001 Pelly river at Pelly crossing	51 023	oct52-sept58 jan59-déc84	32	2100600 Fort Selkirk	15
160	09DC002 Stewart river at Mayo	31 339	jan49-déc53 jan55-déc79	30	2100700 Mayo A	15
	Territoires du nord-ouest					
161	07OB001 Hay river near Hay River	47 915	jan64-déc84	21	2202400 Hay River A	15
162	07RD001 Lochart river at oulet of Artillery lake	26 700	oct45-sept49 oct63-sept65 mai66-avr82 jan83-déc84	24	2201900 Fort Reliance	14
163	07UC001 Karisa river at outlet of Karisa lake	14 900	jan64-déc84	21	2201800 Fort Providence	10
164	10ED001 Liard river at Fort Liard	222 000	mai59-avr62 jan66-déc84	22	----	--
165	10JA002 Camsell river at outlet of Clut lake	31 100	jan34-déc34 jan65-déc84	21	----	--
166	10RC001 Back river below Deep Rose lake	98 200	jan65-déc84	20	2300500 Baker lake A	15

A N N E X E B

Résultats de l'analyse saisonnière et de l'analyse de fréquence

des stations hydrométriques considérées

dans les provinces maritimes

Tableau B.1 - Résultats de l'analyse de fréquence des stations hydrométriques considérées dans les provinces maritimes

No. Station	Q_{base}	Nbr. moy. exc.	Découpage			Tests d'ajustement			λ_k	β_k	C_v
			Type	Critères	Nbr. exc.	Exponentielle Kolmo. Smir.	Exponentielle χ^2	Poisson χ^2			
1. 01AD002	1660.0	0.98	1	20 mars-31 mai	53	A	R	R	0.91	0.0011	0.711
(1)				01 juin-31 déc	4	*	*	*	0.07	0.0030	
				01 jan -19 mars	0	*	*	*	0.00	0.0000	
2. 01AD003	92.5	1.48	1	01 avr -31 mai	38	A	A	R	1.15	0.0086	0.889
(2)				01 juin-31 déc	9	A	*	*	0.27	0.0572	
				01 jan -31 mars	2	*	*	*	0.06	0.0444	
3. 01AK001	31.1	1.00	1	01 avr -30 juin	47	A	A	R	0.75	0.0789	1.107
(3)				01 juil-31 oct	2	*	*	*	0.03	1.1112	
				01 nov -31 jan	8	A	*	*	0.13	0.1404	
				01 fév -31 mars	6	A	*	*	0.10	0.0410	
4. 01AP002	120.0	1.0	1	01 avr -31 mai	19	A	A	R	0.51	0.0225	0.765
(4)				01 juin-30 sept	3	*	*	*	0.08	0.0188	
				01 oct -31 déc	11	A	*	*	0.30	0.0318	
				01 jan -31 mars	3	*	*	*	0.08	0.0259	
5. 01AQ001	56.6	1.0	1	01 avr -31 mai	27	R	R	R	0.41	0.0248	1.506
(5)				01 juin-30 sept	4	*	*	*	0.06	0.0350	
				01 oct -31 déc	22	A	A	A	0.33	0.0536	
				01 jan -31 mars	13	A	*	*	0.20	0.0269	
	56.6	1.0	2	Fonte de neige	7	A	*	A	0.11	0.0746	1.506
				01 avr -31 mai							
				Pcum ≤ 20 mm							
				Fonte et pluie	20	A	A	A	0.30	0.0201	
				01 avr -31 mai							
				Pcum > 20 mm							
				Pluie	39	A	A	A	0.59	0.0387	
				01 juin-31 mars							
6. 01BE001	244.0	1.0	1	01 avr -30 juin	50	A	A	R	0.91	0.0066	0.755
(6)				01 juil-10 sept	0	*	*	*	0.00	0.0000	
				11 sept-31 déc	4	*	*	*	0.07	0.0063	
				01 jan -31 mars	1	*	*	*	0.02	0.0500	

Tableau B.1 - suite

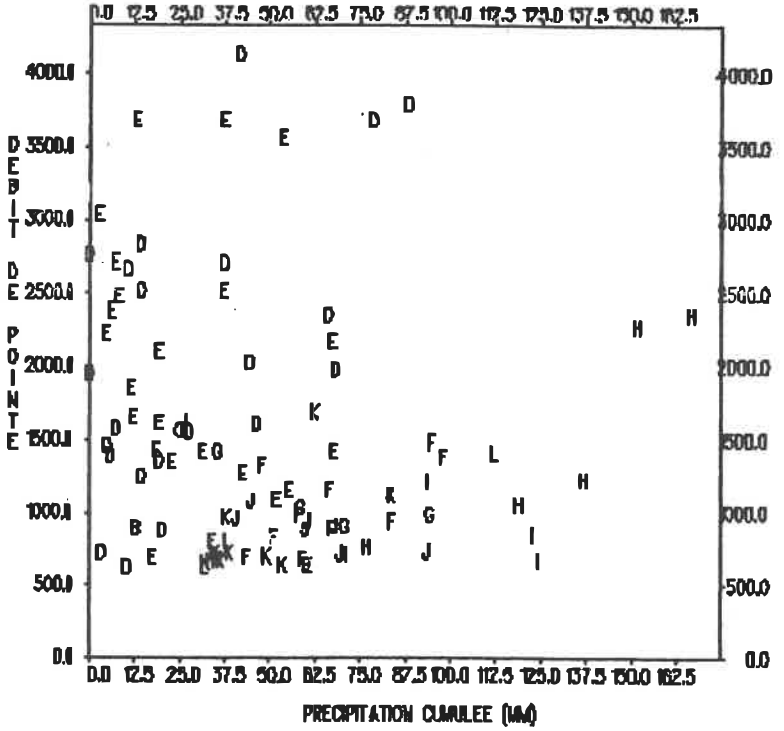
No. Station	Q_{base}	Nbr. moy. exc.	Découpage Type	Critères	Nbr. exc.	Tests d'ajustement Exponentielle Kolmo. Smir.	Exponentielle χ^2	Poisson χ^2	λ_k	β_k	C_v
7. 01BJ001	63.0	1.0	1	01 avr -30 juin	41	A	A	A	0.93	0.0450	0.988
(7)				01 juil-30 sept	0	*	*	*	0.00	0.0000	
				01 oct -31 déc	3	*	*	*	0.07	0.0630	
				01 jan -31 mars	0	*	*	*	0.00	0.0000	
8. 01B0001	586.0	1.5	1	01 avr -15 juin	41	A	A	A	1.08	0.0030	0.943
(8)				16 juin-30 sept	3	*	*	*	0.08	0.0058	
				01 oct -31 déc	11	A	*	*	0.29	0.0043	
				01 jan -31 mars	2	*	*	*	0.05	0.0011	
9. 01BP001	206.0	1.0	1	01 avr -31 mai	23	A	A	R	0.70	0.0089	1.399
(9)				01 juin-30 sept	5	A	*	*	0.15	0.0385	
				01 oct -31 déc	3	*	*	*	0.09	0.0124	
				01 jan -31 mars	2	*	*	*	0.06	0.0030	
10. 01DB002	28.2	1.0	1	01 oct -31 déc	8	A	A	*	0.24	0.0428	1.368
(10)				01 jan -30 avr	23	A	A	A	0.68	0.0658	
				01 mai -30 sept	3	*	*	*	0.09	0.2190	
11. 01DC003	17.0	0.97	1	01 jan -31 mai	19	A	A	A	0.58	0.0646	1.019
(11)				01 juin-30 sept	3	*	*	*	0.09	0.1415	
				01 oct -31 déc	10	A	*	*	0.30	0.1138	
12. 01DG003	23.8	1.49	1	01 oct -15 mai	58	A	A	R	1.35	0.1020	0.842
(12)				16 mai -30 sept	6	A	*	*	0.14	0.0759	
13. 01DR001	47.8	1.49	1	01 août-15 oct	7	A	*	*	0.20	0.0242	1.071
(13)				16 oct -15 mai	42	A	A	A	1.20	0.0653	
				16 mai -31 juil	3	*	*	*	0.09	0.1546	
14. 01EC001	55.0	1.0	1	01 jan -30 avr	41	A	A	A	0.61	0.0423	1.001
(14)				01 mai -31 oct	11	A	*	*	0.16	0.0618	
				01 nov -31 déc	15	A	A	A	0.22	0.0569	
15. 01EF001	185.0	0.99	1	01 jan -30 avr	40	A	A	R	0.58	0.0106	1.520
(15)				01 mai -31 oct	11	A	*	*	0.16	0.0150	
				01 nov -31 déc	17	A	A	R	0.25	0.0248	

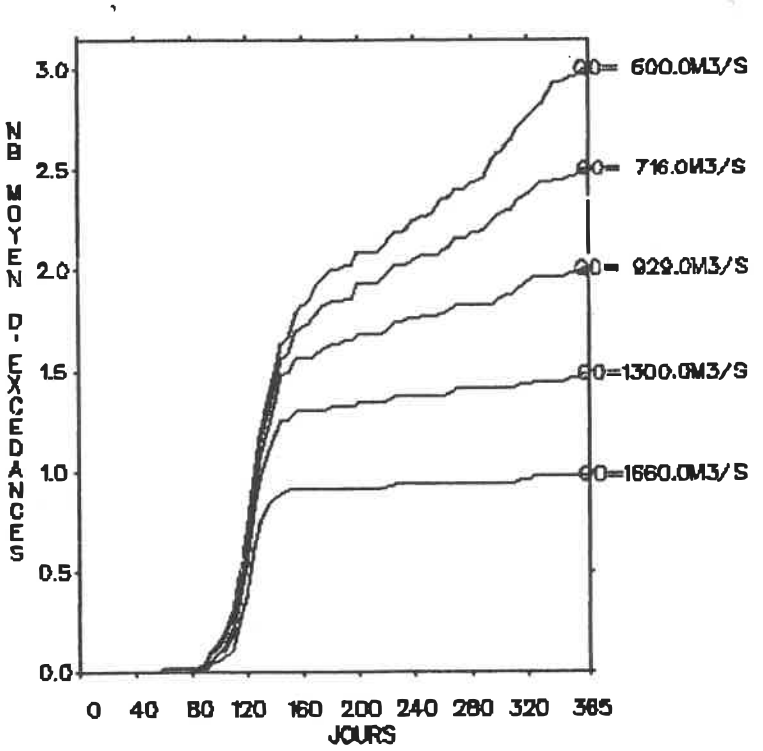
Tableau B.1 - suite

No. Station	Q_{base}	Nbr. moy. exc.	Découpage				Tests d'ajustement			λ_k	β_k	C_v
			Type	Critères	Nbr. exc.	Exponentielle Kolmo. Smir.	Exponentielle χ^2	Poisson χ^2				
16. 01EH003	5.6	0.98	1	01 sept-31 oct	5	A	*	*	0.08	0.1558	1.391
(16)				01 nov -31 mai	50	A	A	A	0.85	0.2684	
				01 juin-31 août	3	*	*	*	0.05	0.3409	
17. 01EK001	109.0	1.0	1	01 jan -29 fév	13	A	*	*	0.19	0.0141	1.227
(17)				01 mars-31 mai	28	A	A	A	0.41	0.0352	
				01 juin-30 sept	5	A	*	*	0.07	0.0112	
				01 oct -31 déc	23	A	A	A	0.33	0.0480	
18. 01E0001	292.0	1.49	1	01 oct - 31 mai	96	A	A	A	1.39	0.0089	1.030
(18)				01 juin- 30 sept	7	A	*	*	0.10	0.0055	
19. 01FB001	123.0	1.46	1	01 oct - 31 mars	46	A	A	A	0.68	0.0198	0.923
(19)				01 avr - 31 mai	45	A	A	A	0.66	0.0200	
				01 juin- 30 sept	8	A	*	*	0.12	0.0313	
20. 01FB003	31.1	1.44	1	01 oct - 31 mars	46	A	A	A	0.70	0.1356	0.897
(20)				01 avr - 31 mai	47	A	A	R	0.71	0.1264	
				01 juin- 30 sept	2	*	*	*	0.03	0.1191	
21. 01FH001	14.1	1.5	1	01 oct - 30 nov	18	A	A	A	0.28	0.1848	0.894
(21)				01 déc - 31 mars	37	A	A	A	0.58	0.2278	
				01 avr - 31 mai	37	A	A	A	0.58	0.1793	
				01 juin- 30 sept	4	*	*	*	0.06	0.2186	
22. 02YL001	425.0	1.5	1	01 avr - 30 juin	55	A	A	A	1.10	0.0072	0.878
(22)				01 juil- 30 sept	4	*	*	*	0.08	0.0222	
				01 oct - 31 déc	15	A	A	A	0.30	0.0095	
				01 jan - 31 mars	1	*	*	*	0.02	0.0042	
23. 02YQ001	450.0	1.0	1	01 jan - 31 mars	7	A	*	*	0.20	0.0053	0.842
(23)				01 avr - 31 mai	25	A	A	R	0.71	0.0060	
				01 juin- 30 sept	0	*	*	*	0.00	0.0000	
				01 oct - 31 déc	3	*	*	*	0.09	0.0211	

Tableau B.1 - suite et fin

No. Station	Q_{base}	Nbr. moy. exc.	Découpage			Tests d'ajustement			λ_k	β_k	C_v
			Type	Critères	Nbr. exc.	Exponentielle Kolmo. Smir.	Exponentielle χ^2	Poisson χ^2			
24. 02YS001	103.0	2.0	1	01 jan - 31mars	11	A	*	*	0.53	0.0147	0.903
(24)				01 avr - 31 mai	33	A	A	A	1.03	0.0183	
				01 juin- 30 sept	3	A	*	*	0.09	0.0288	
				01 oct - 31 déc	17	A	A	A	0.53	0.0338	
25. 02ZF001	138.0	1.0	1	01 jan - 29 fév	9	A	*	*	0.27	0.0102	1.597
(25)				01 mars- 31 mai	12	A	*	*	0.36	0.0323	
				01 juin- 30 sept	1	*	*	*	0.03	0.0313	
				01 oct - 31 déc	11	A	*	*	0.33	0.0377	
26. 02ZH001	127.0	1.49	1	01 déc - 31 mai	38	A	A	A	1.23	0.0139	1.007
(26)				01 juin- 31 nov	8	A	*	*	0.26	0.0506	
27. 02ZK001	86.7	1.0	1	01 jan - 29 fév	15	A	A	A	0.43	0.0241	1.225
(27)				01 mars- 30 avr	1	*	*	*	0.03	0.0353	
				01 mai - 31 juil	0	*	*	*	0.00	0.0000	
				01 août- 31 déc	19	A	A	A	0.54	0.0356	
28. 02ZM006	1.8	0.94	1	01 oct - 29 fév	22	A	A	A	0.71	1.3095	1.117
(28)				01 mars- 30 sept	7	A	*	*	0.23	2.2581	

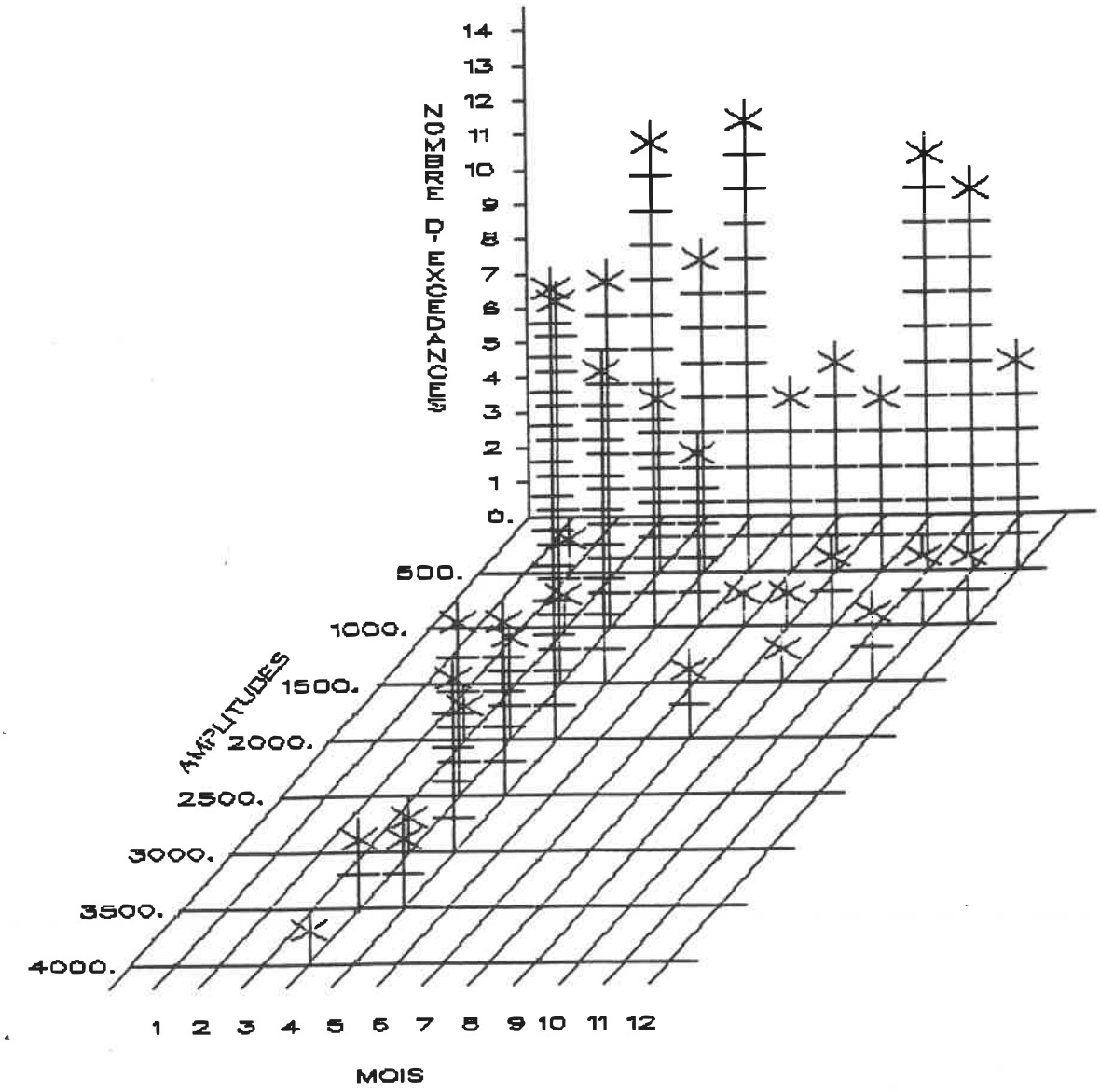




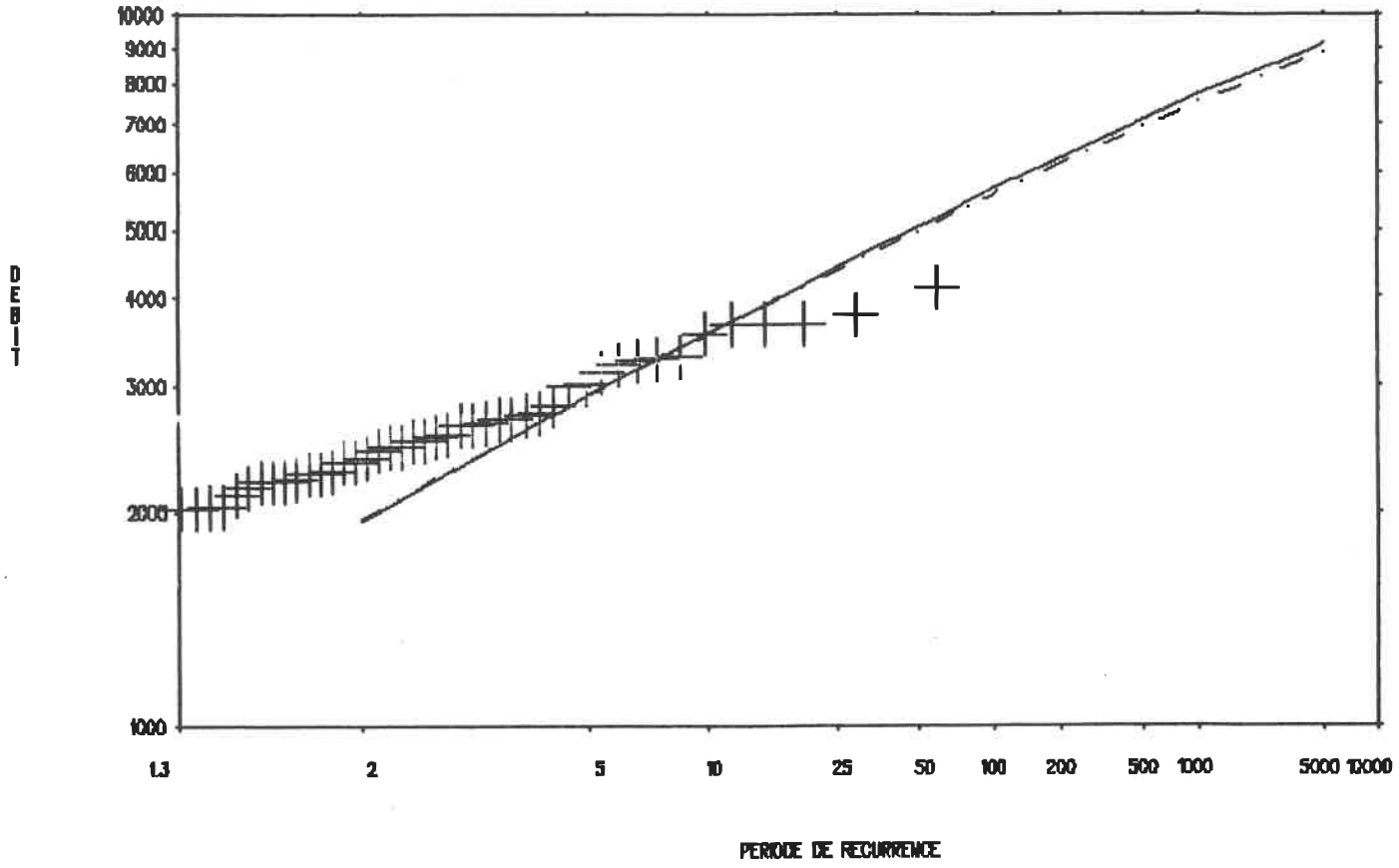
B1.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

B1.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B1 - Station 01AD002



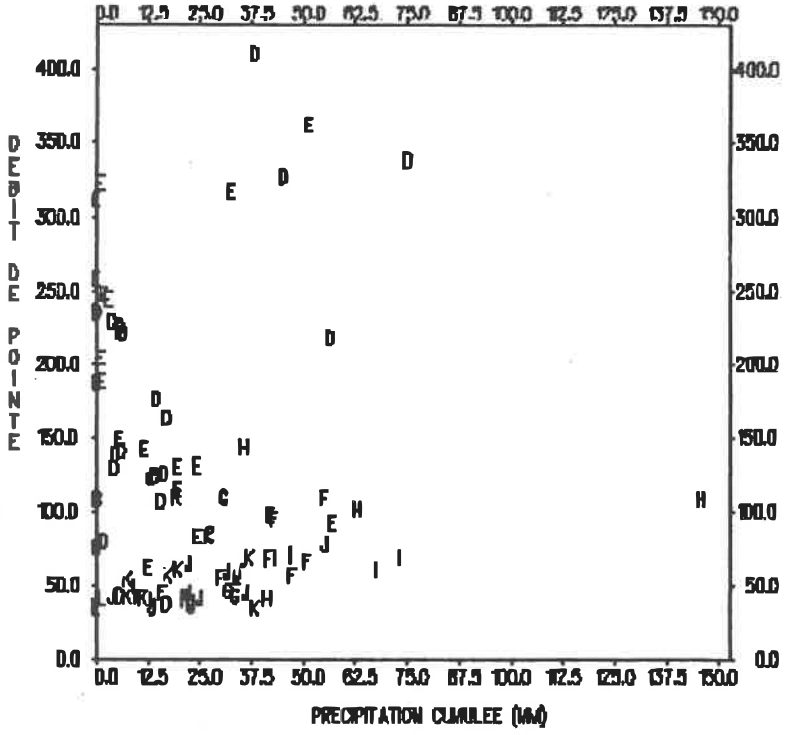
B1.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3s) et du mois

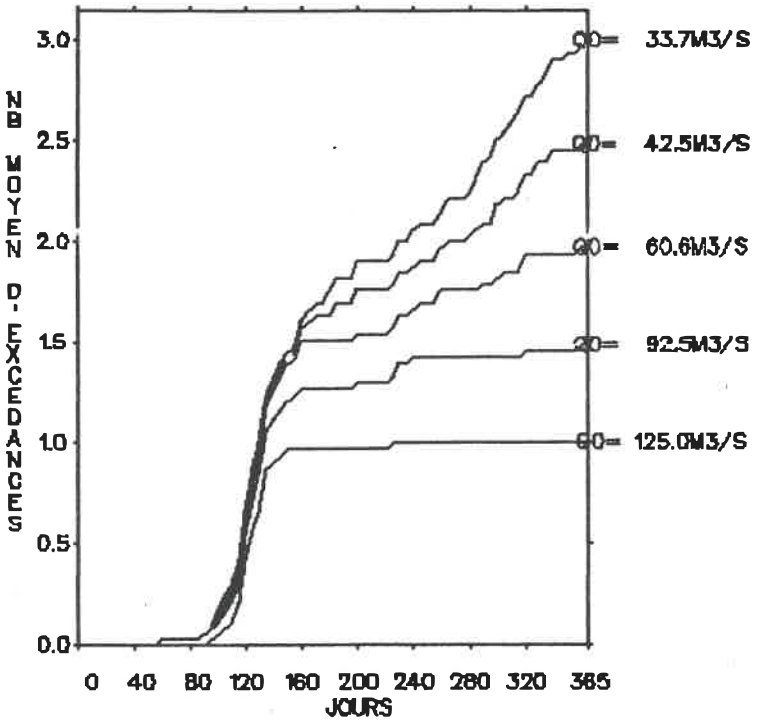


B1.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

—— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

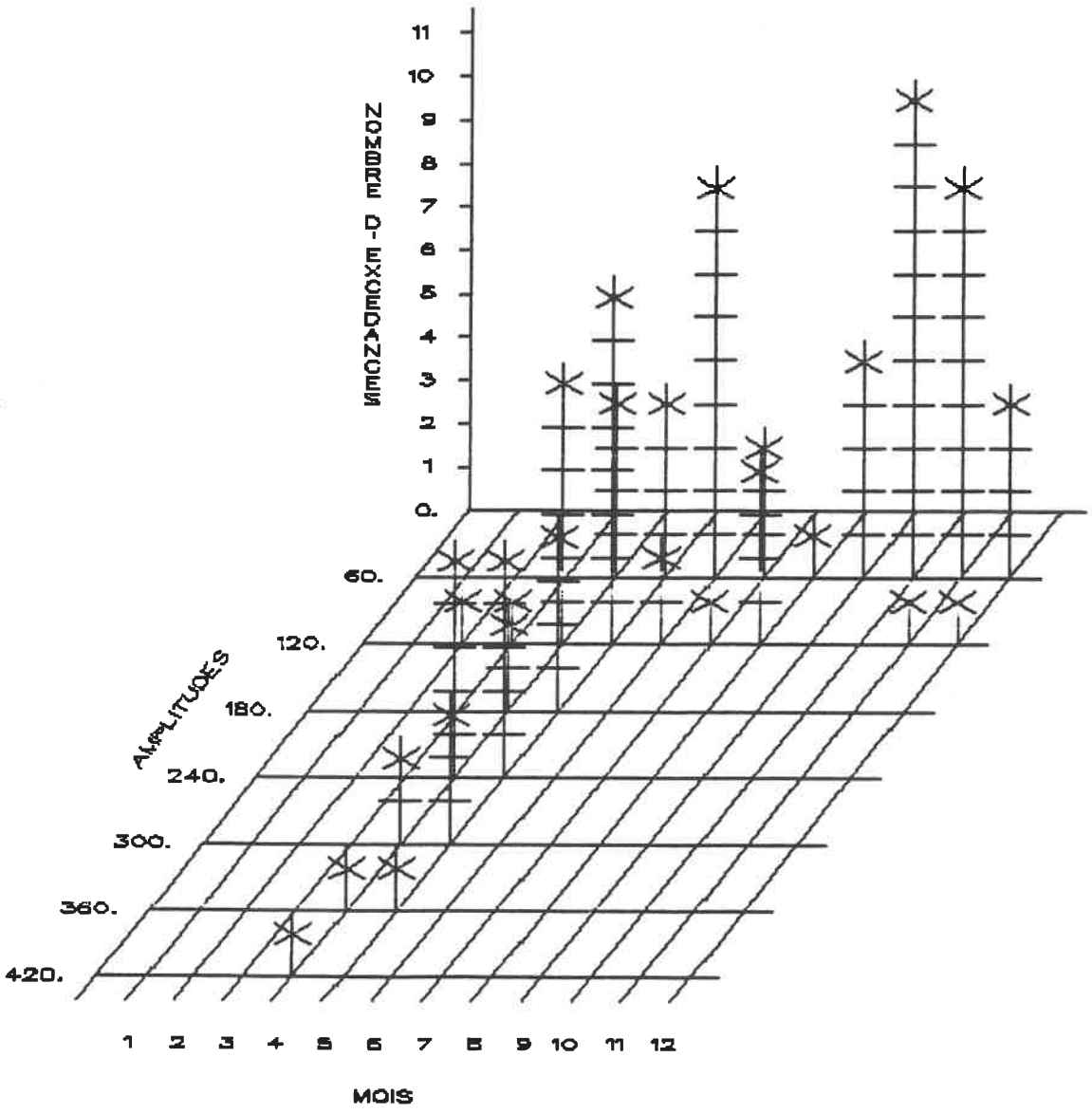




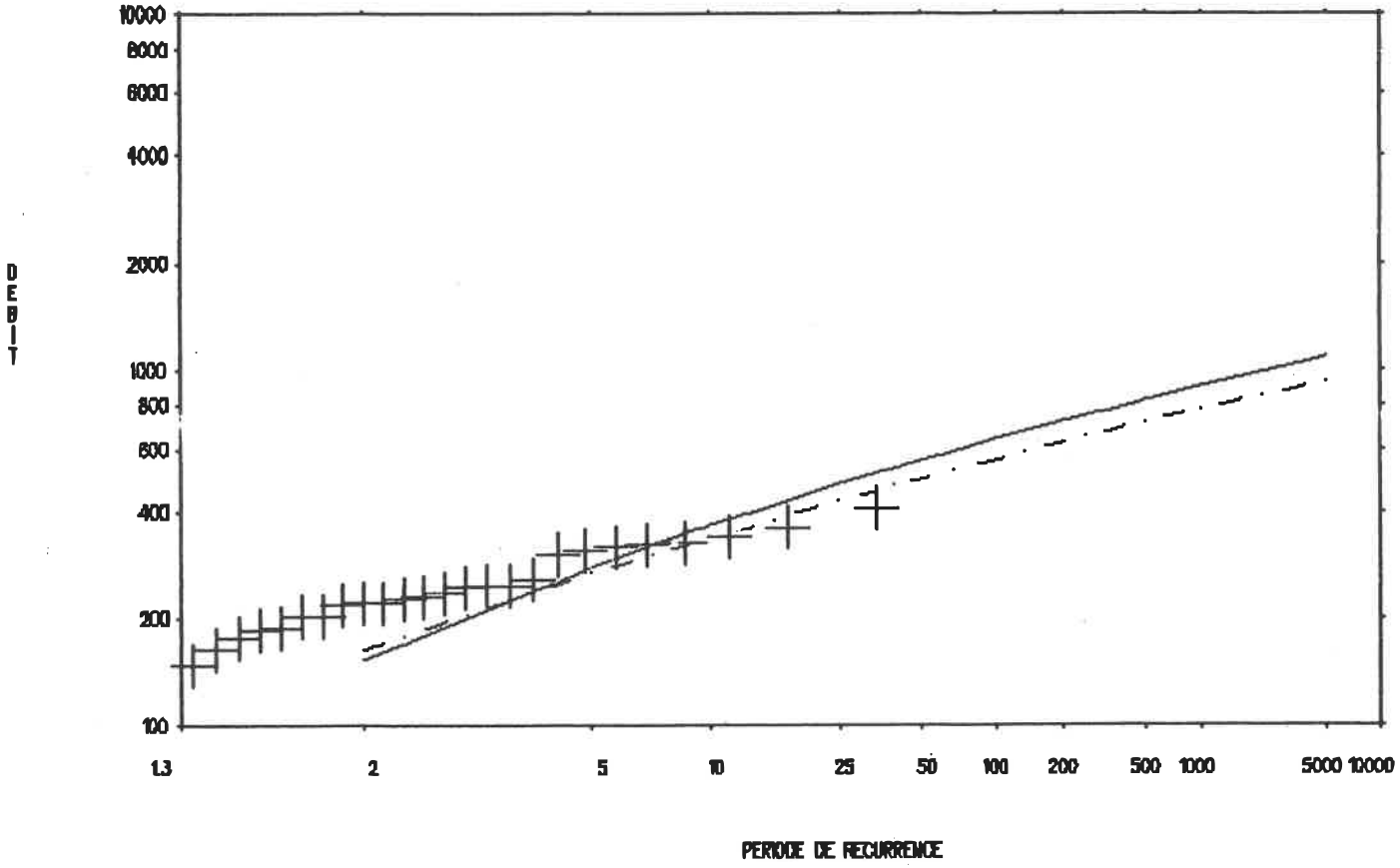
B2.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

B2.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B2 - Station 01AD003



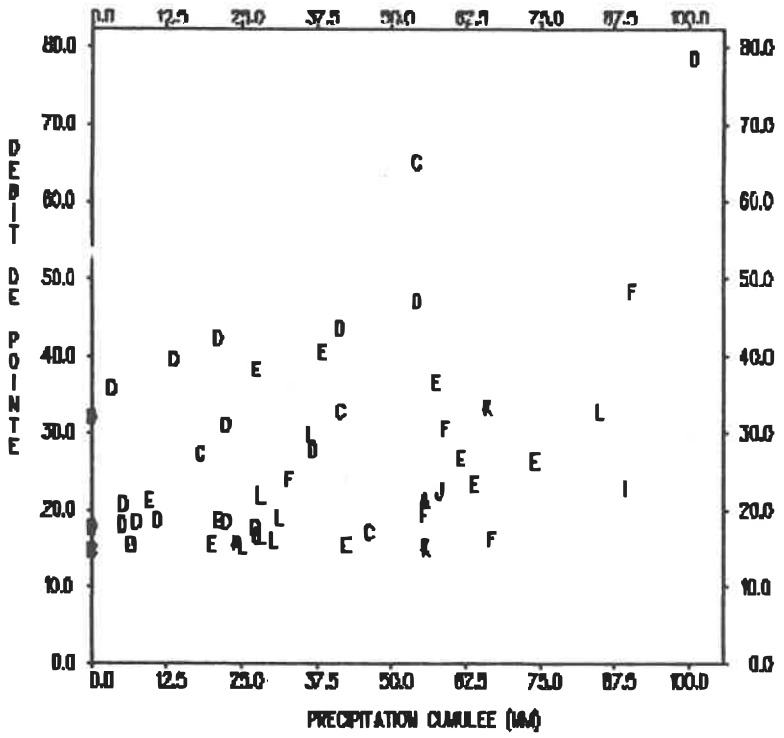
B2.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3s) et du mois

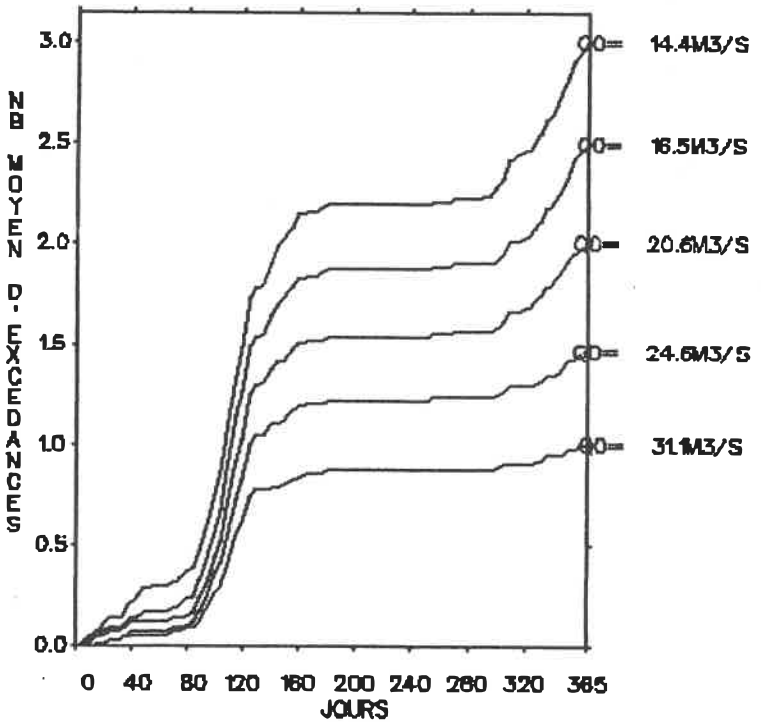


B2.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

—— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

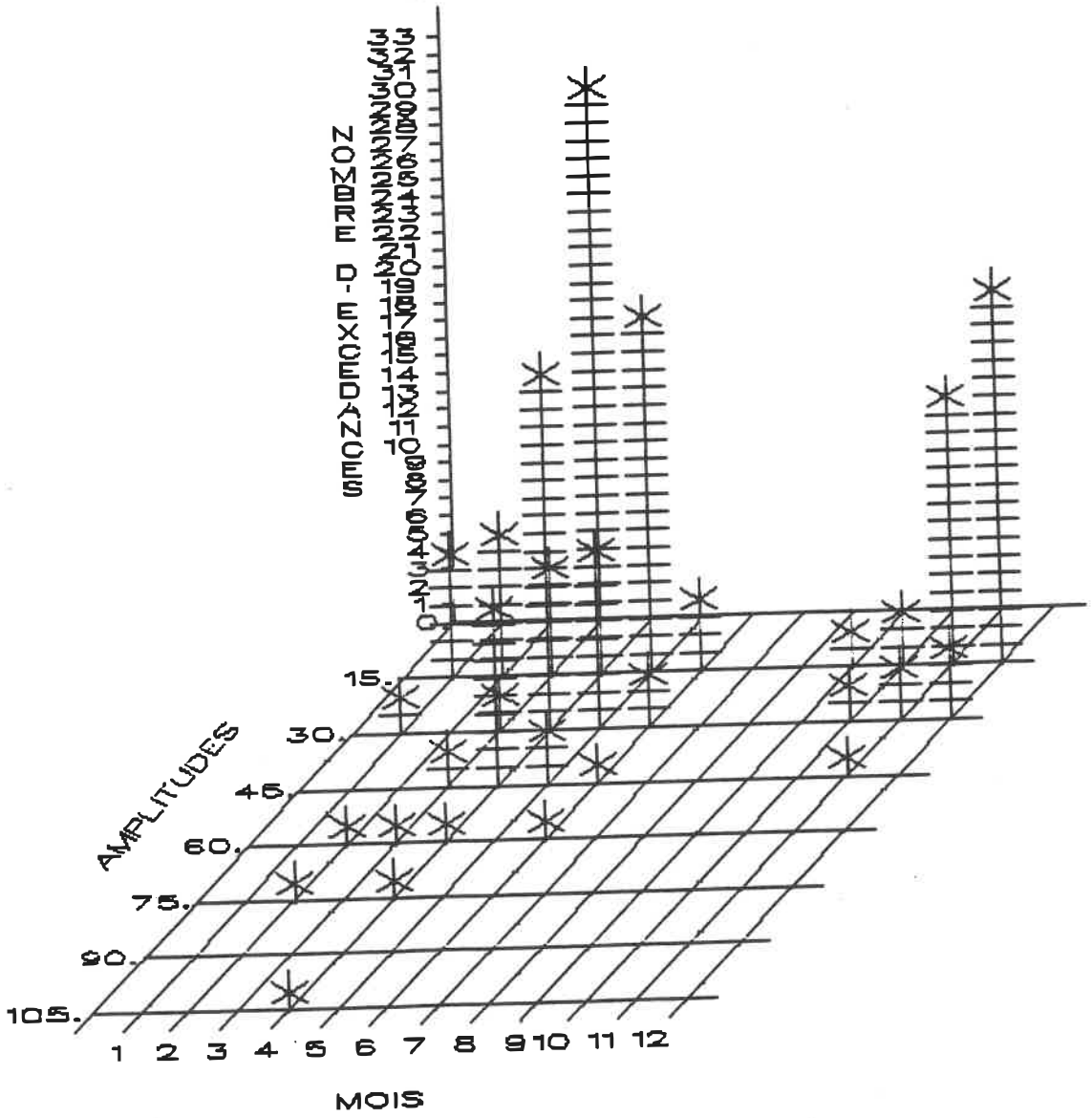




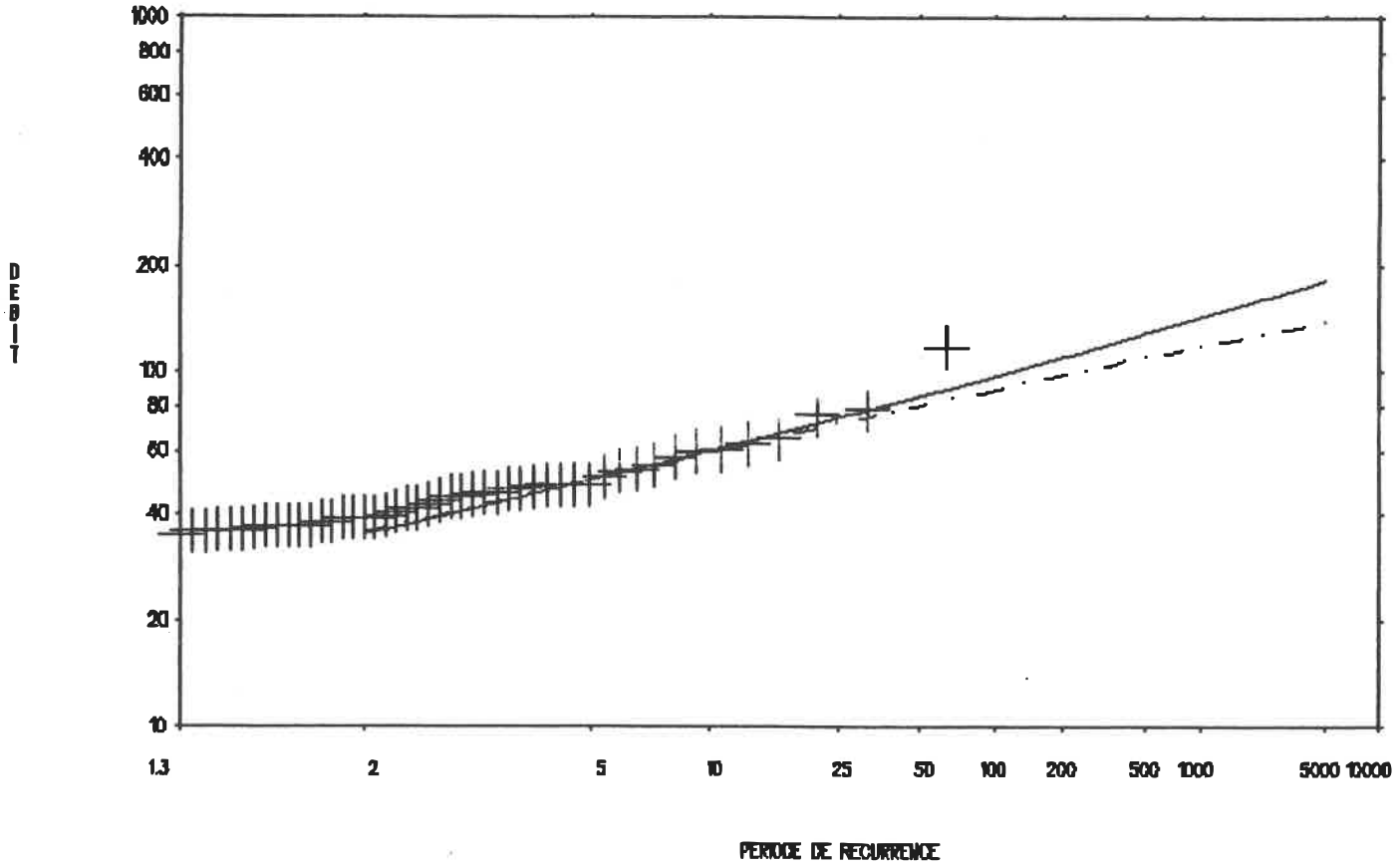
B3.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

B3.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B3 - Station 01AK001



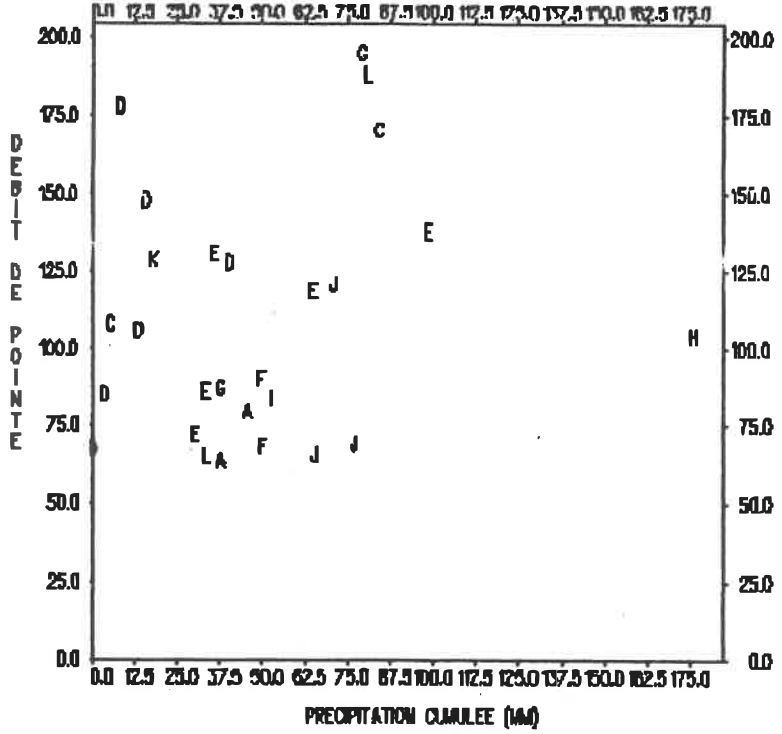
B3.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3s) et du mois

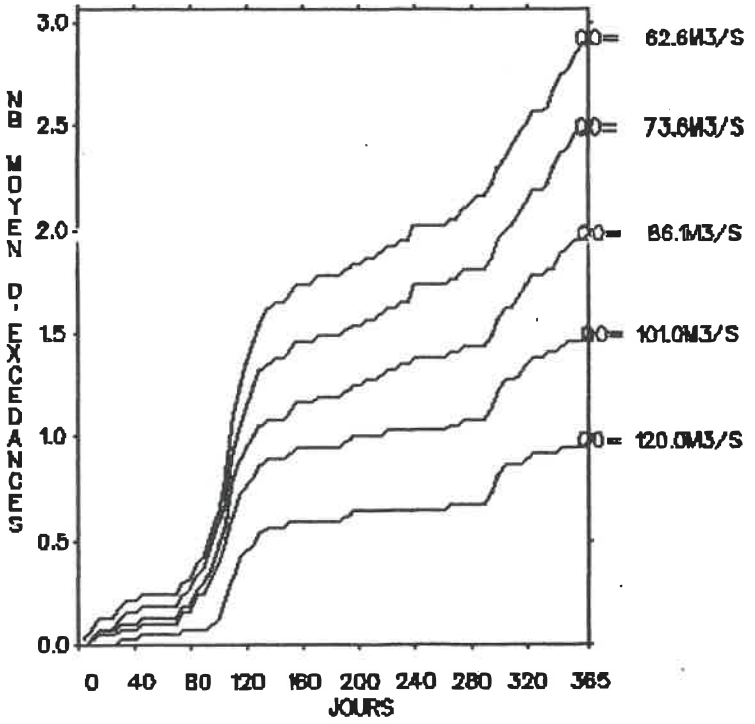


B3.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

—— découpage en périodes homogènes

—·— analyse annuelle

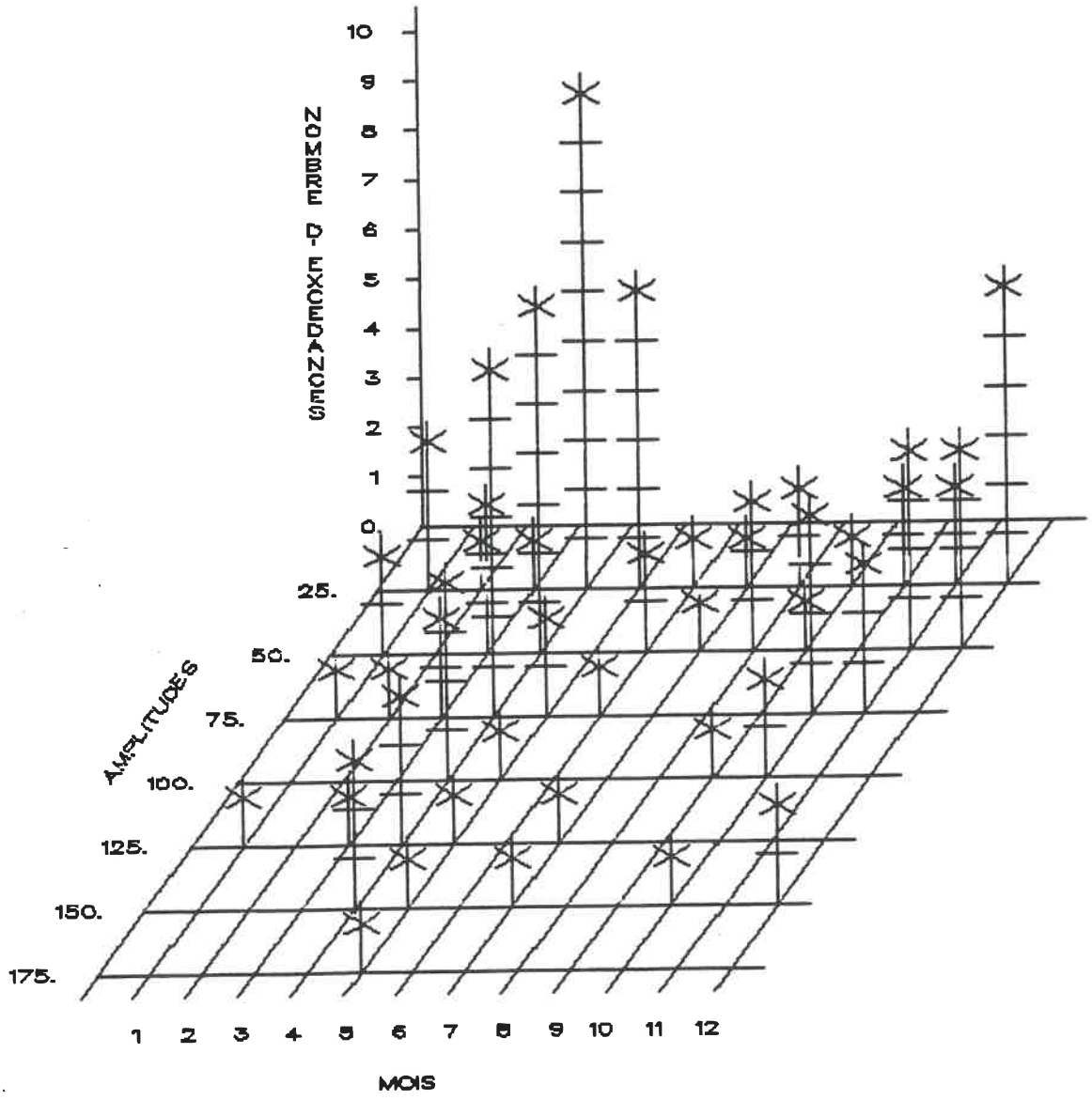




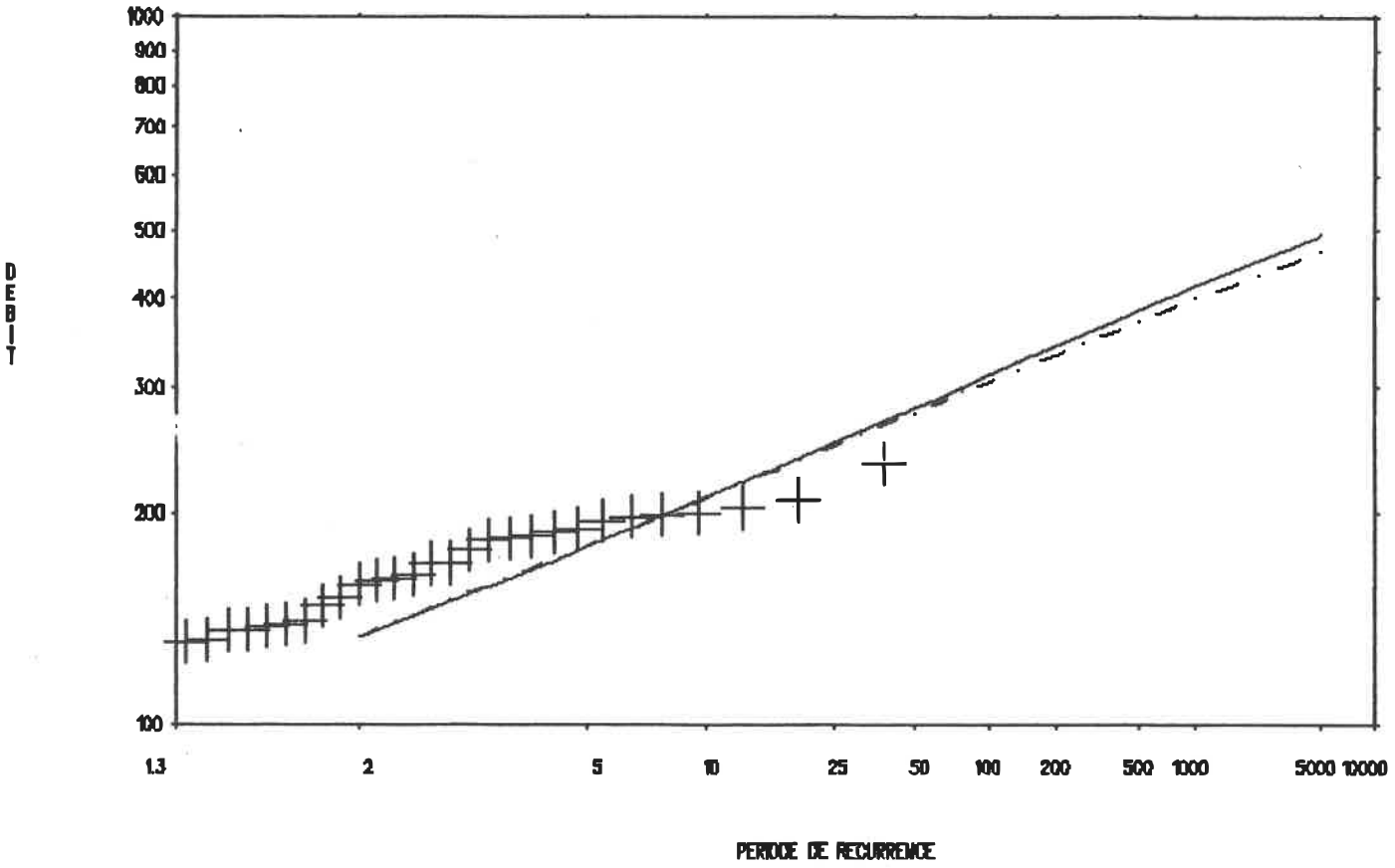
B4.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

B4.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B4 - Station 01AP002



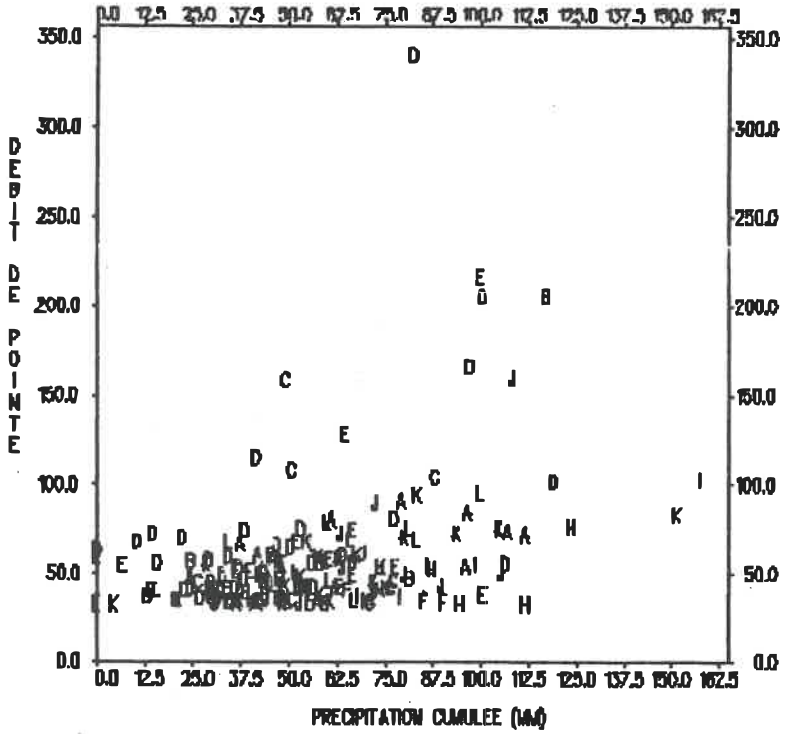
B4.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois

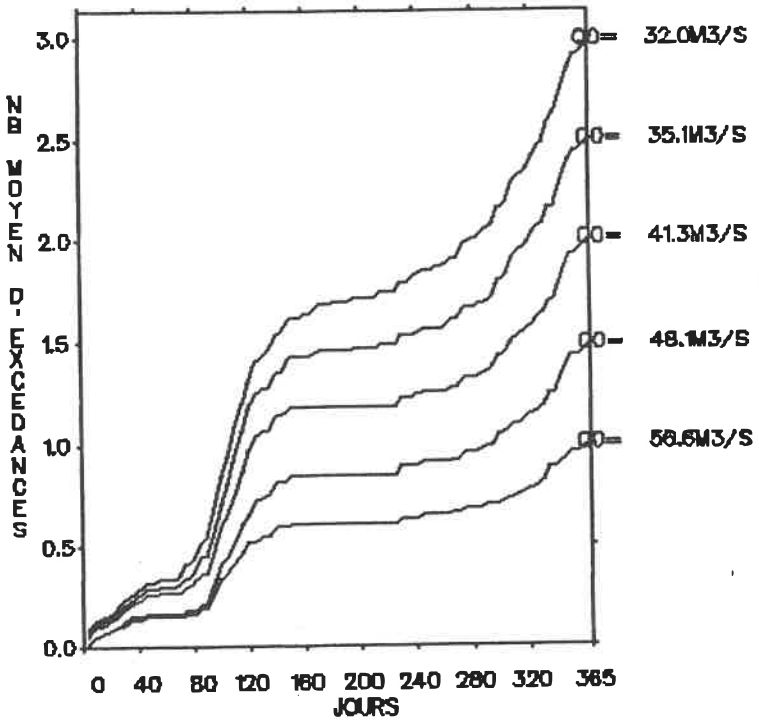


B4.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

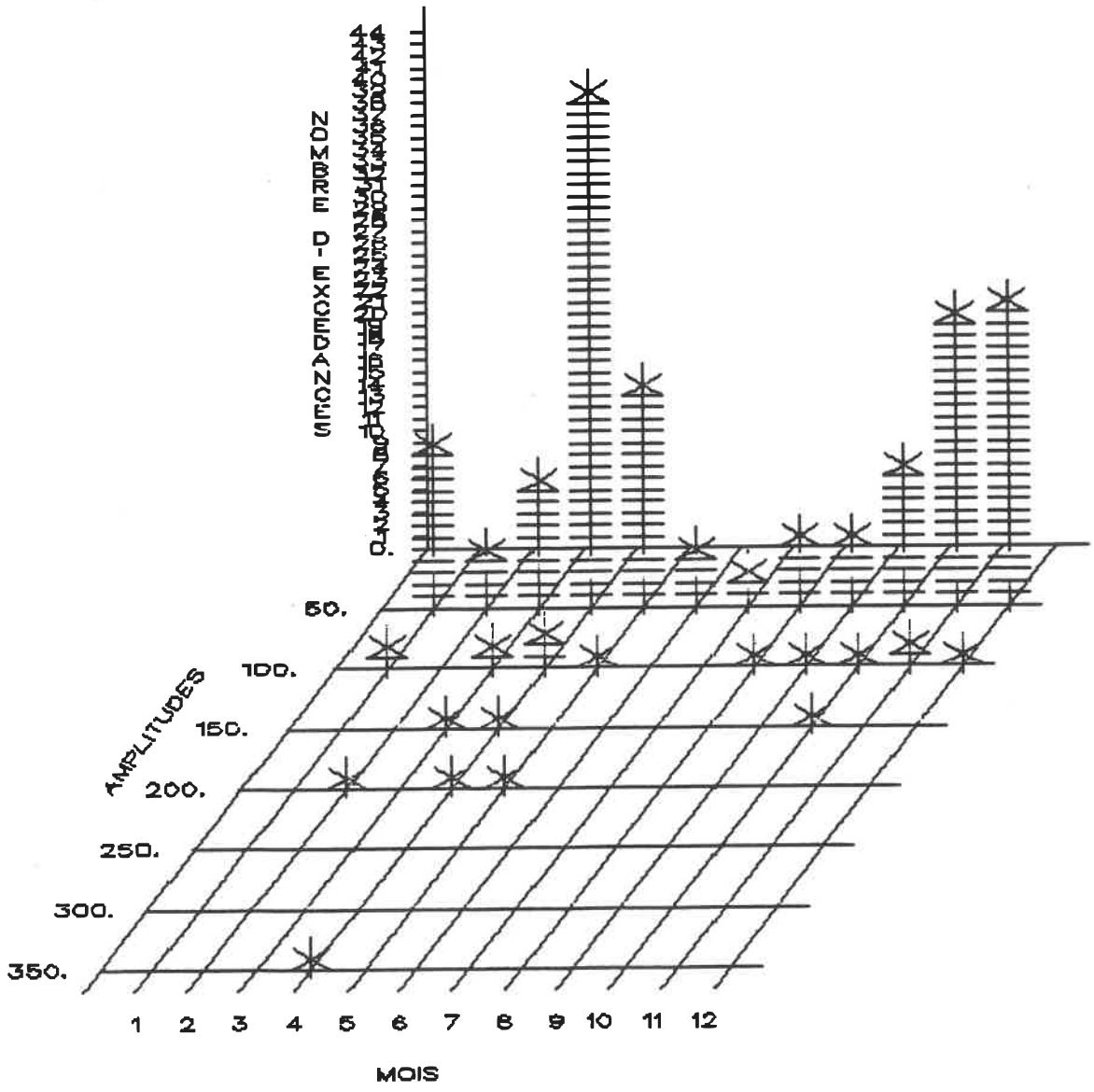




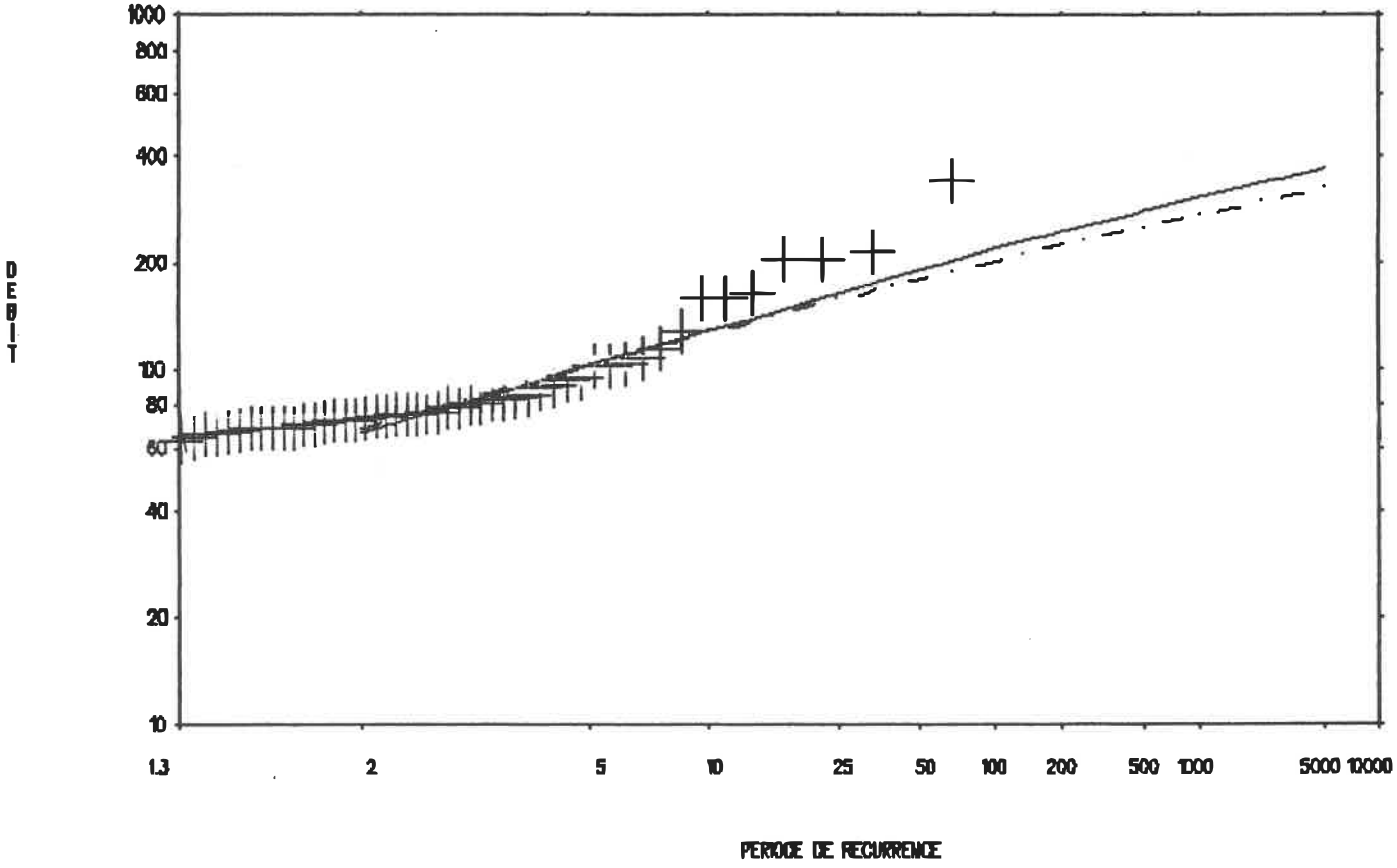
B5.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

B5.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B5 - Station 01AQ001



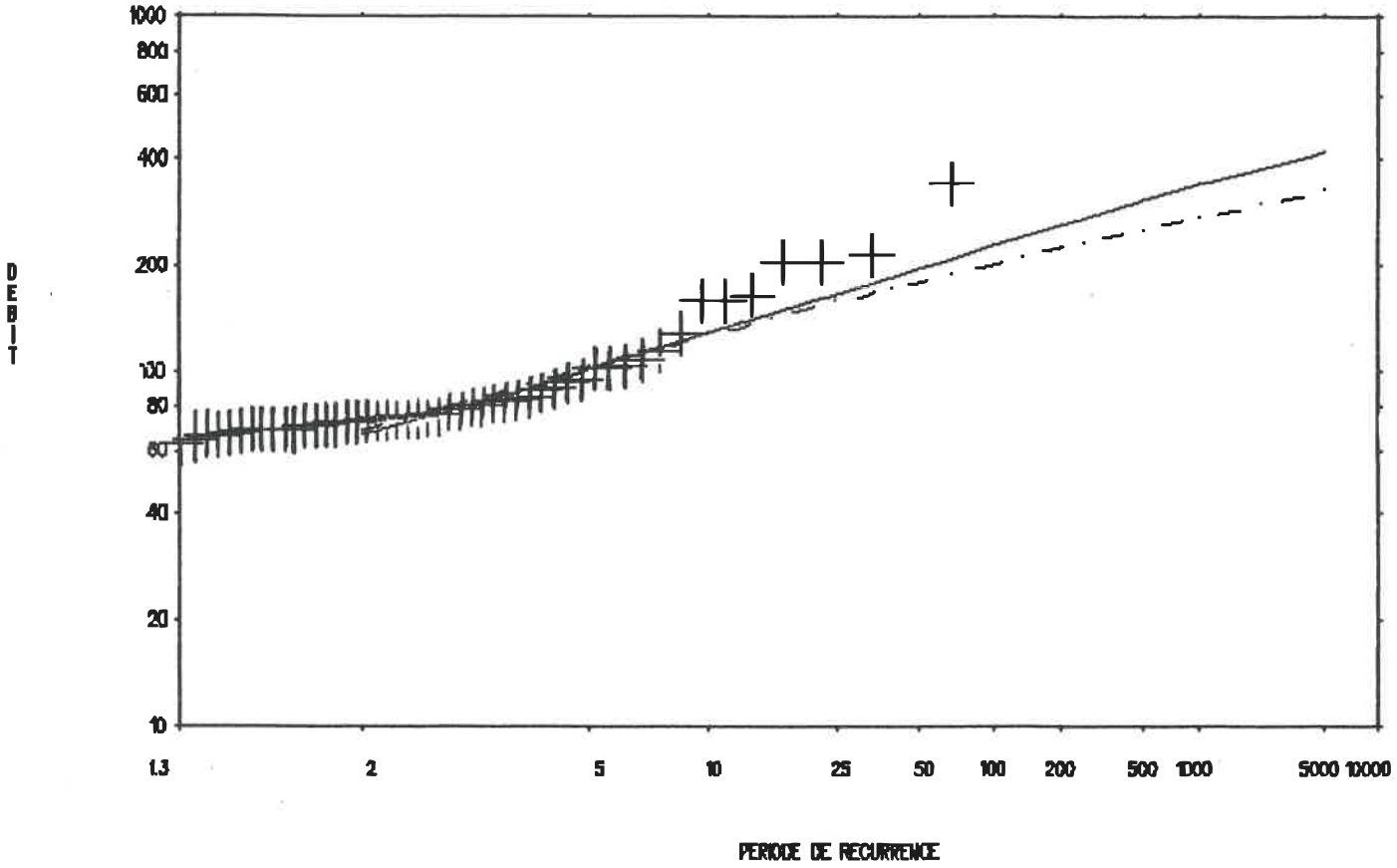
B5.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



B5.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

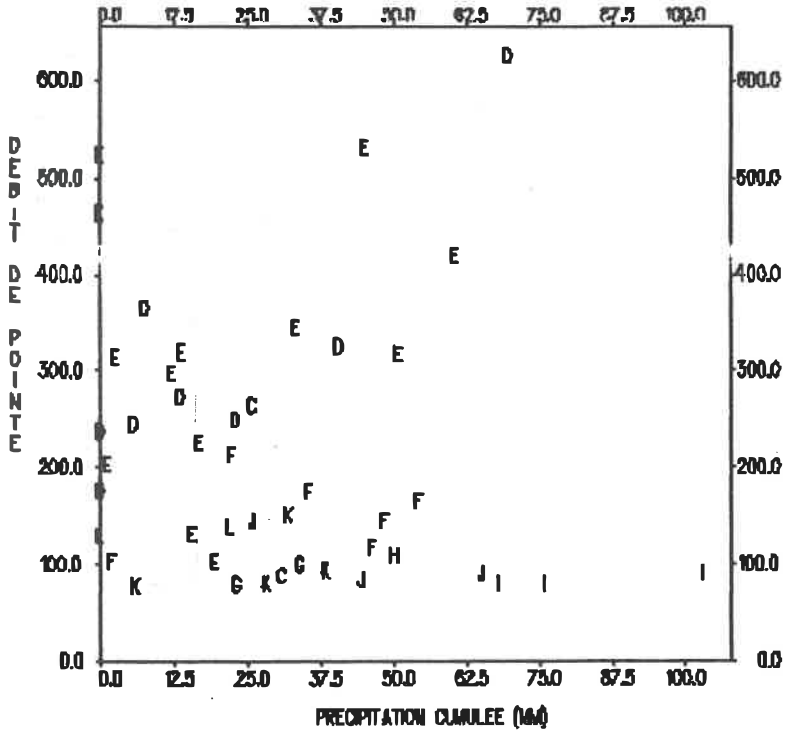
—·—· analyse annuelle

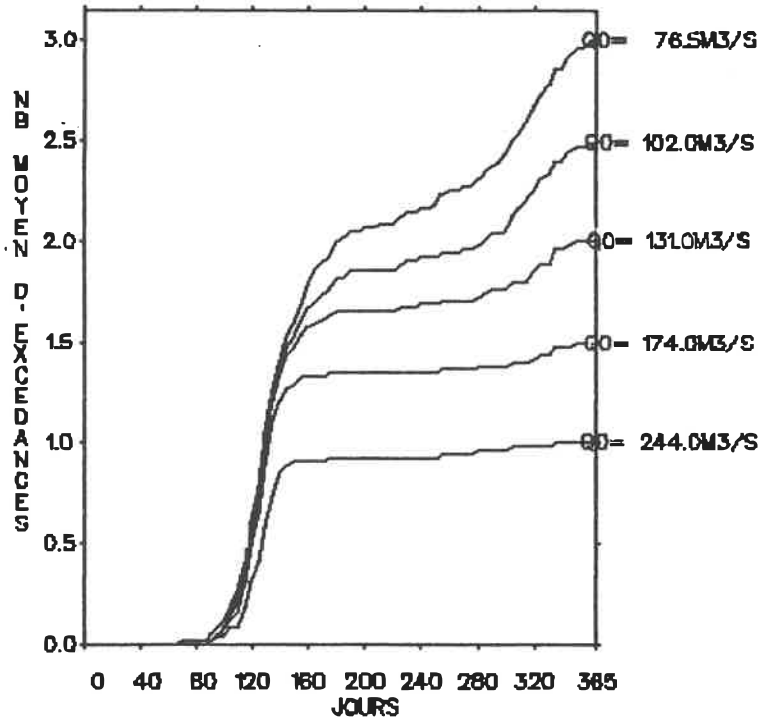


B5.e - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

—— découpage selon les phénomènes générateurs

– – analyse annuelle

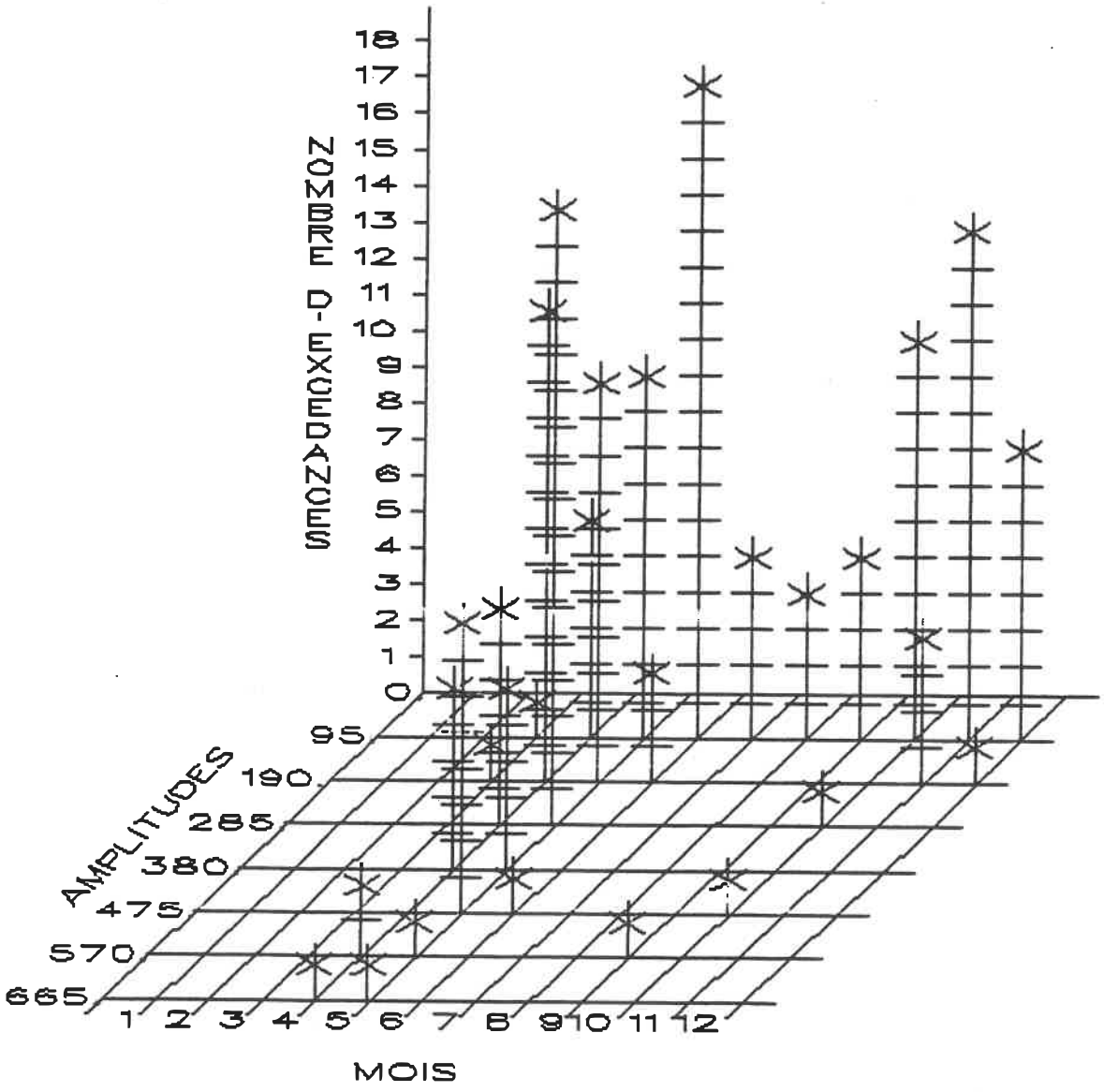




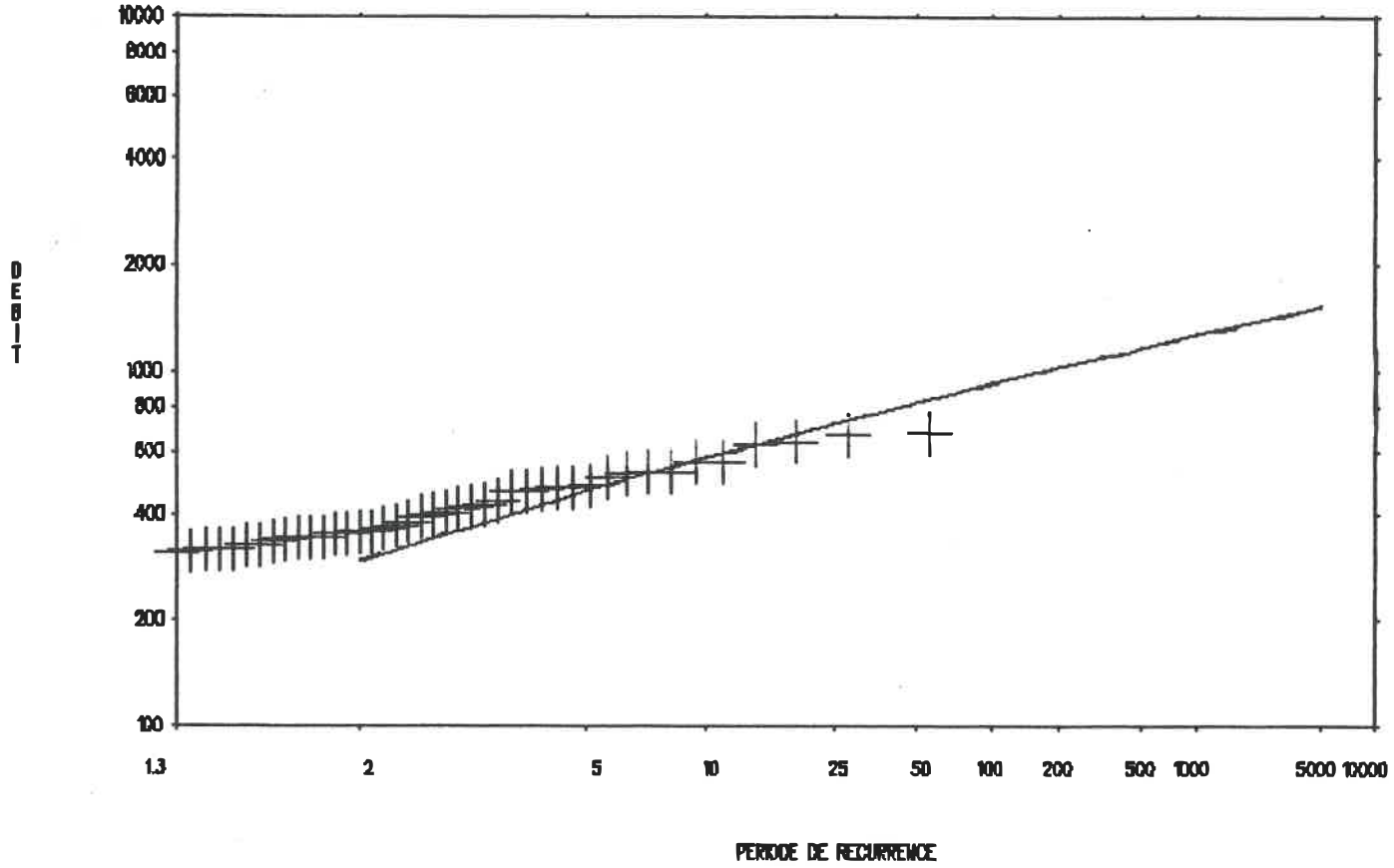
B6.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

B6.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B6 - Station 01BE001



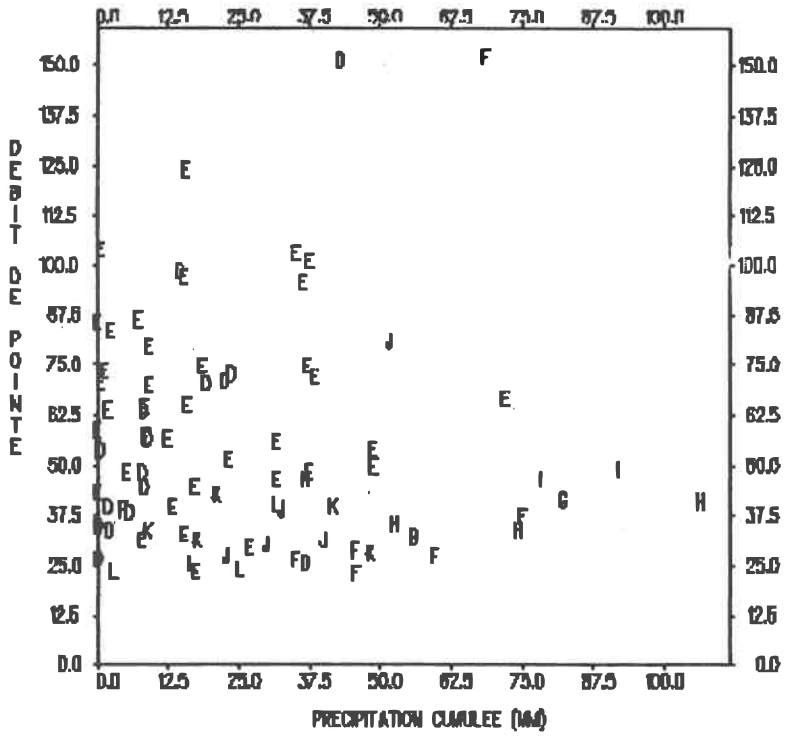
B6.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



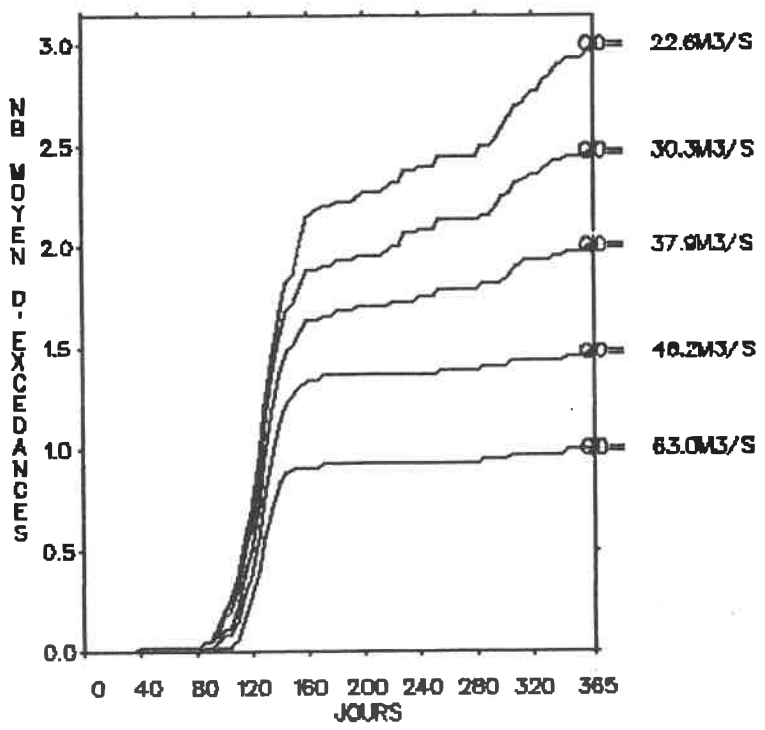
B6.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

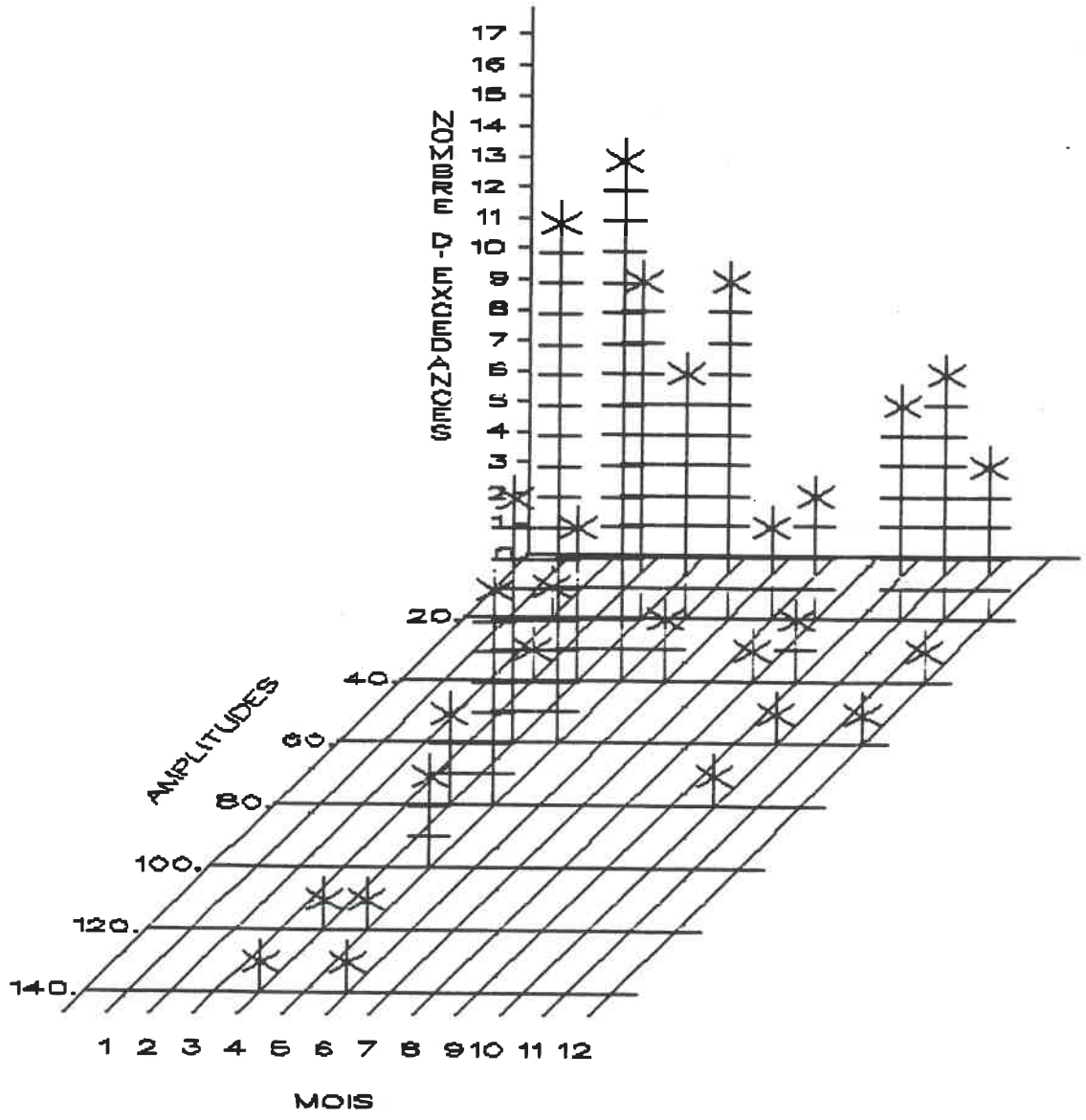


B7.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

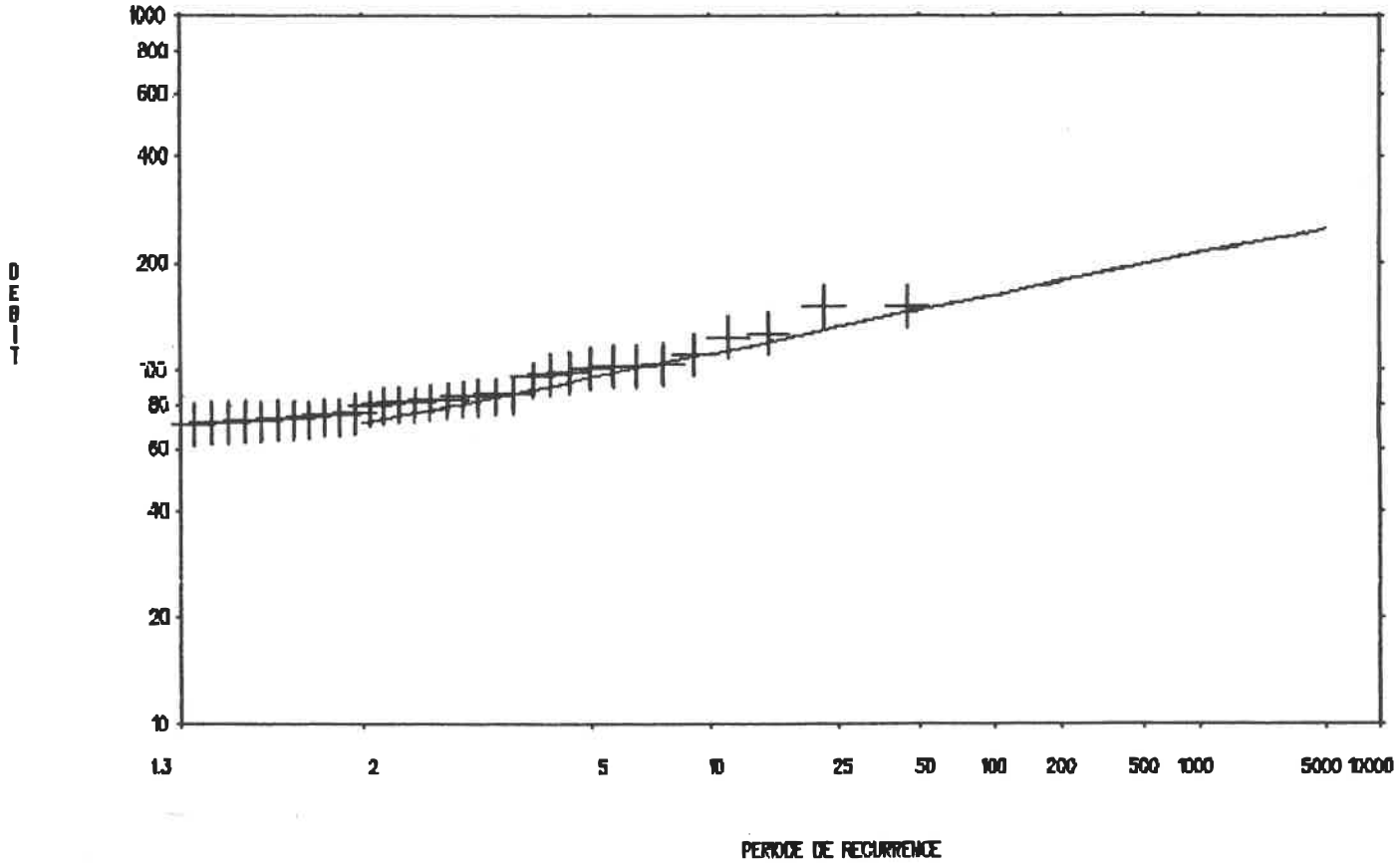


B7.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B7 - Station 01BJ001



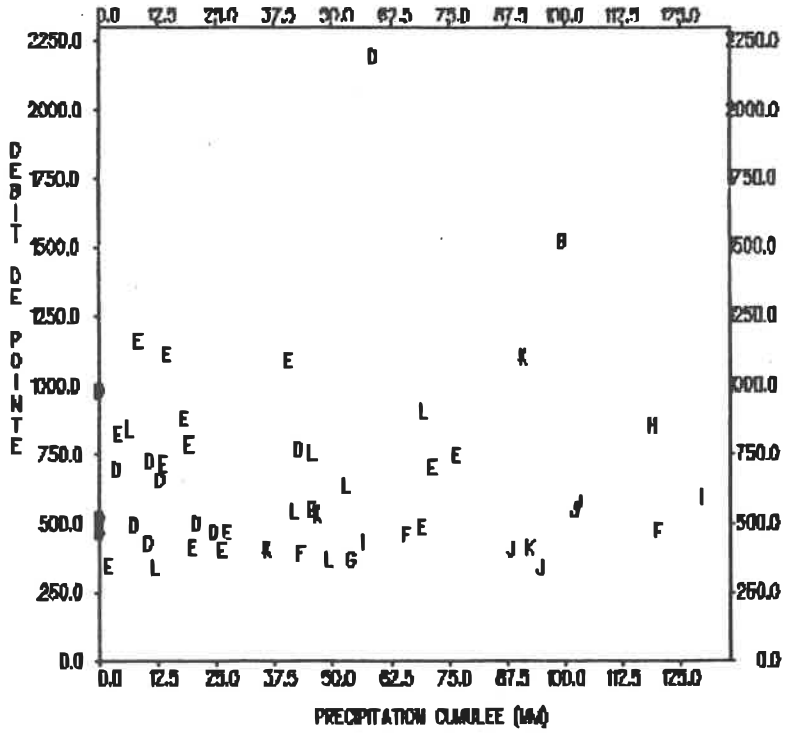
B7.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois

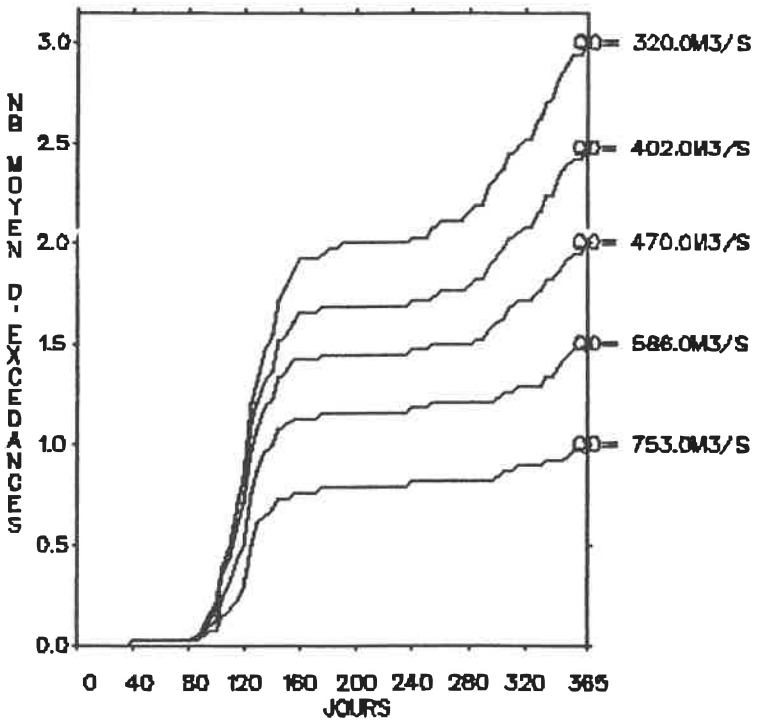


B7.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

—— découpage en périodes homogènes

– – analyse annuelle

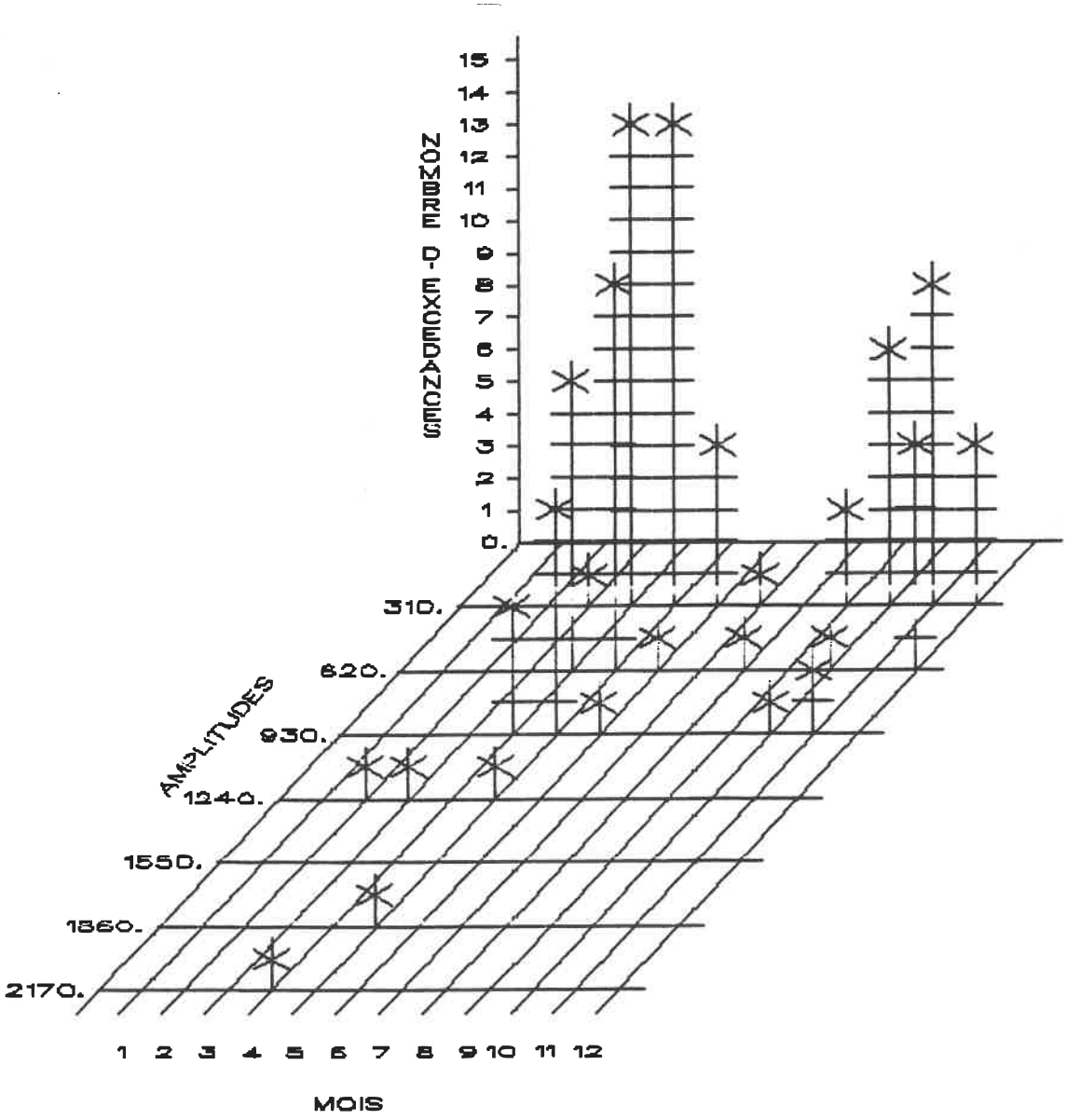




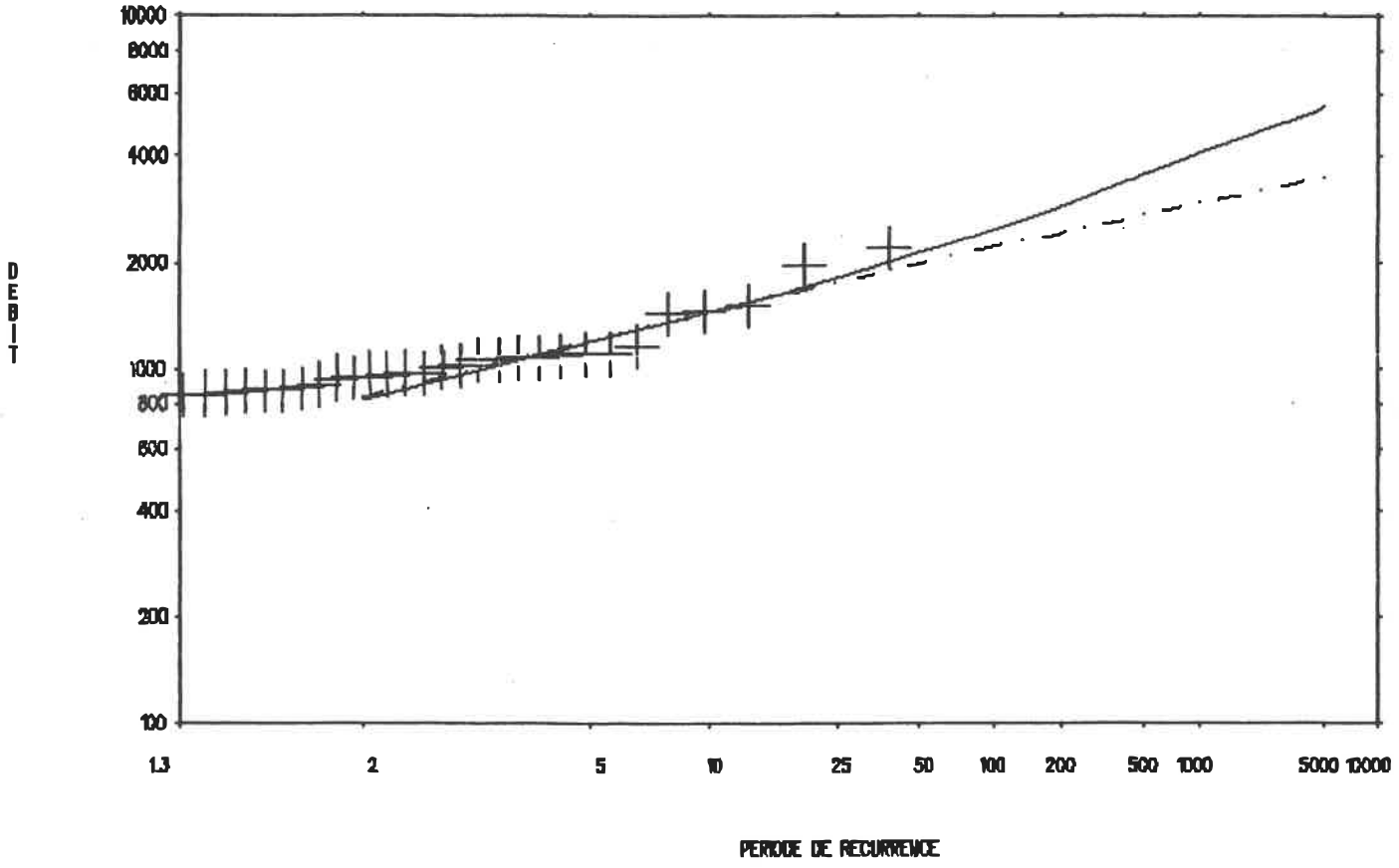
B8.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

B8.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B8 - Station 01B0001



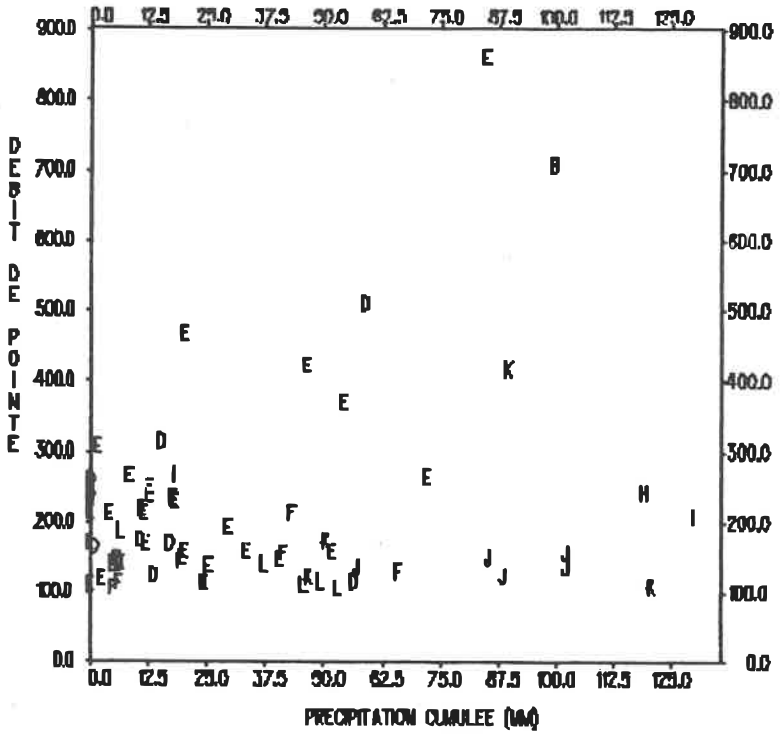
B8.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



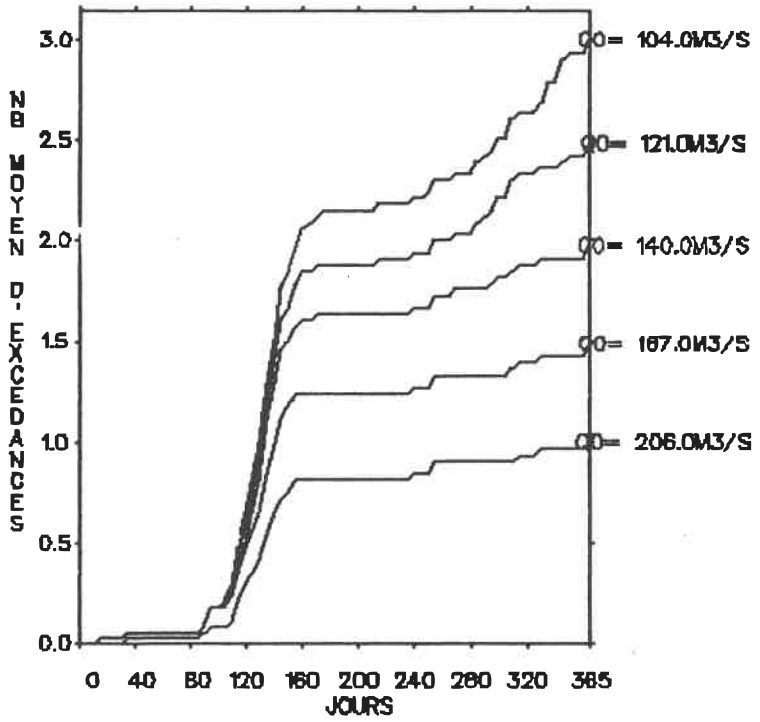
B8.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

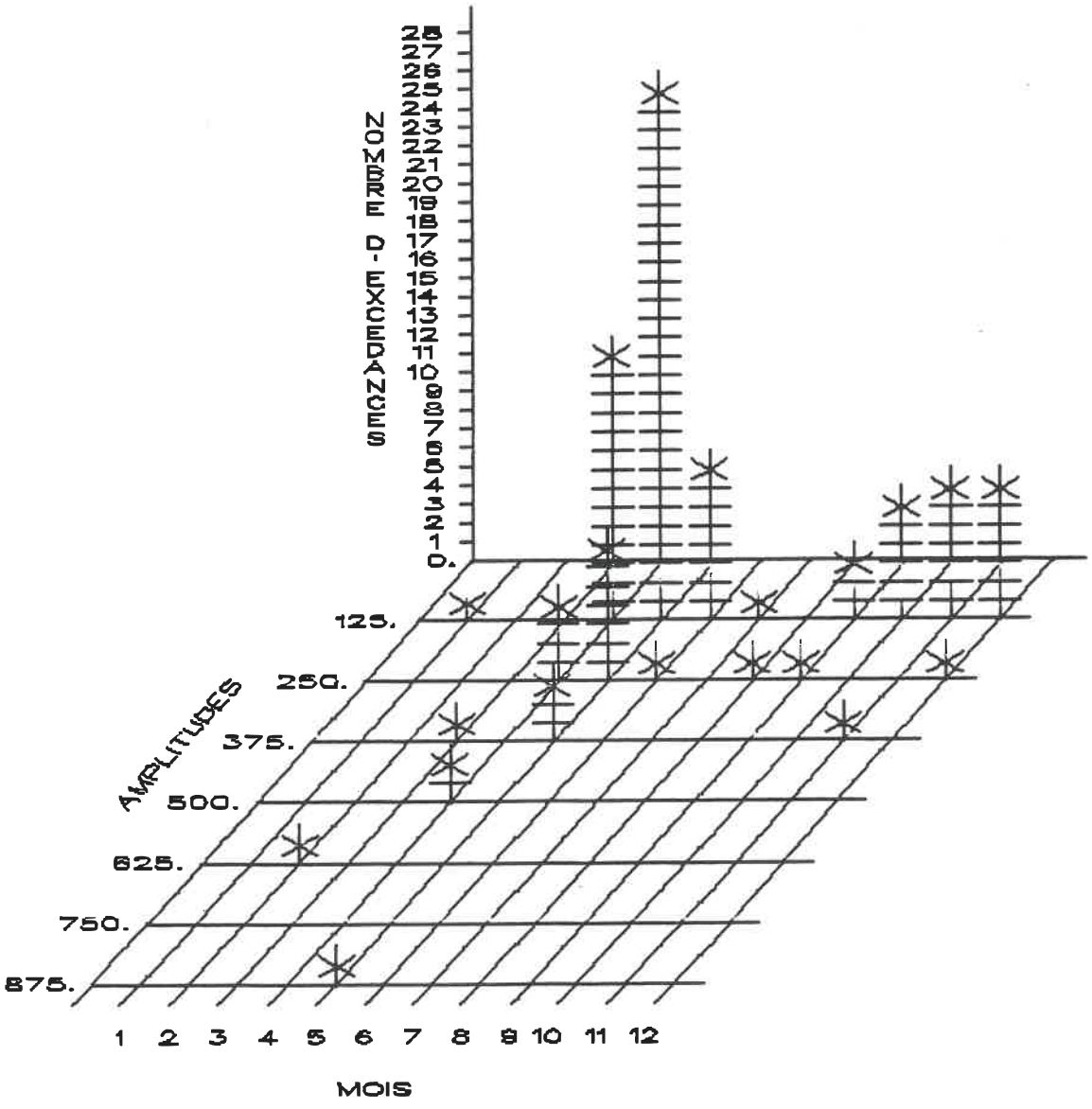


B9.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

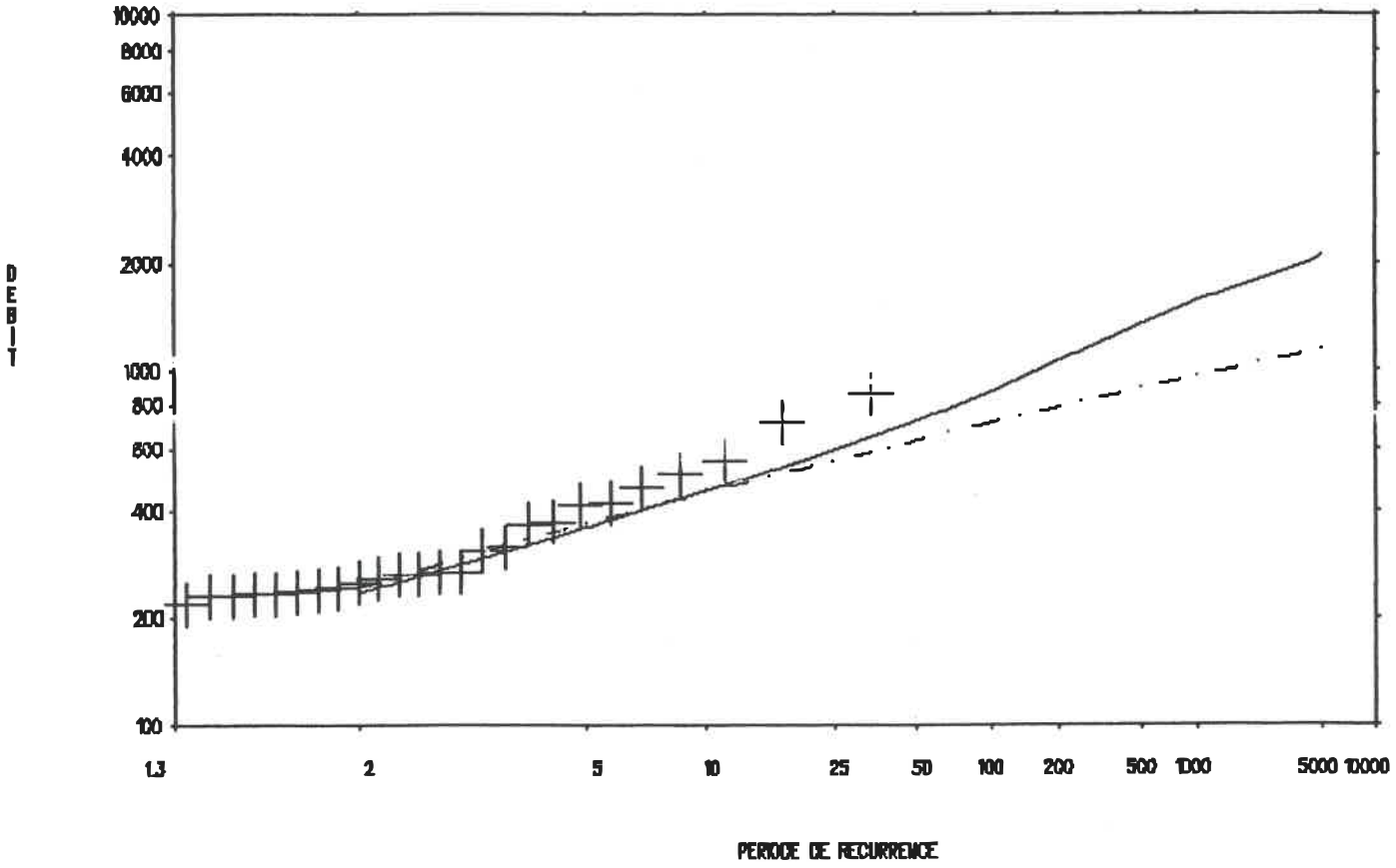


B9.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B9 - Station 01BP001



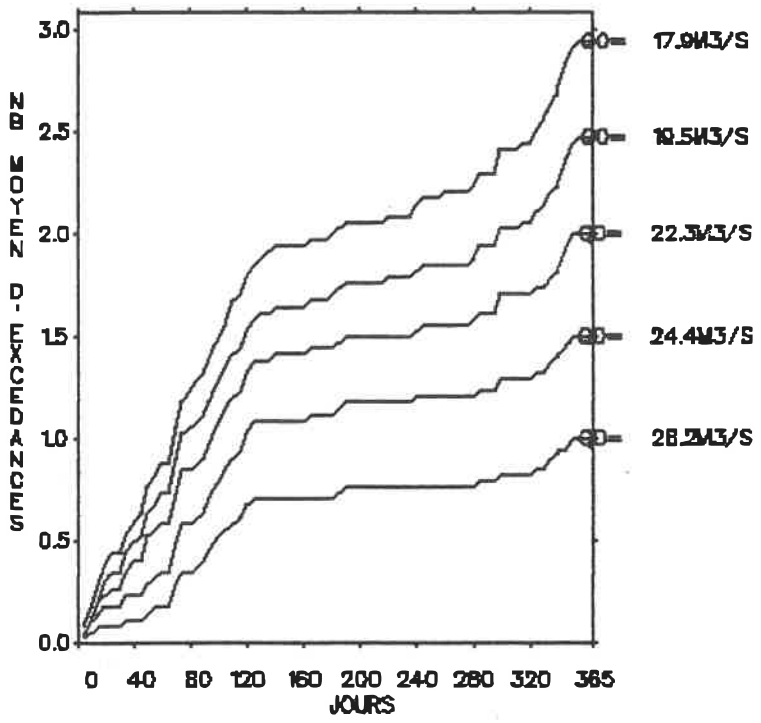
B9.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



B9.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

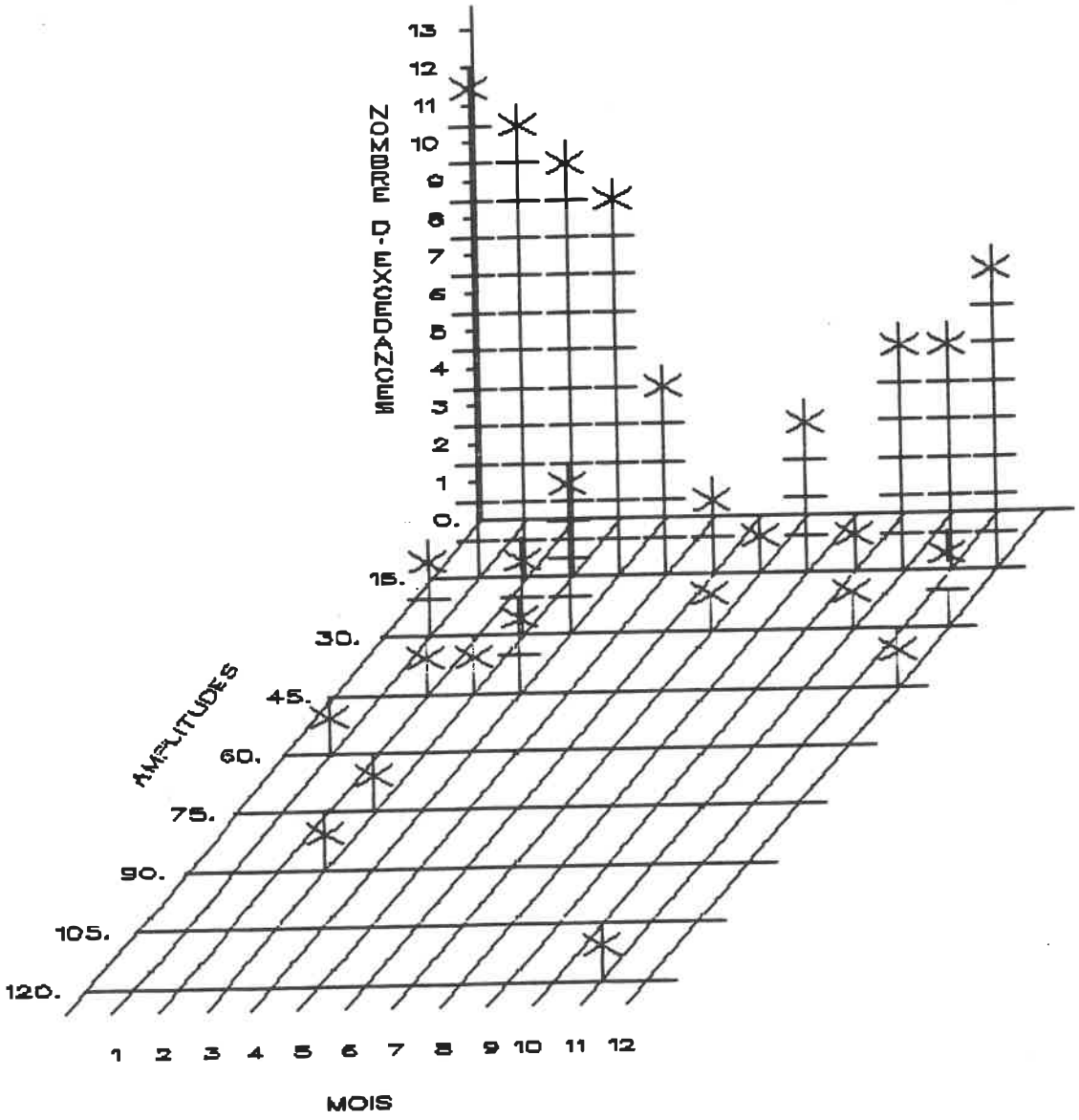
—— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

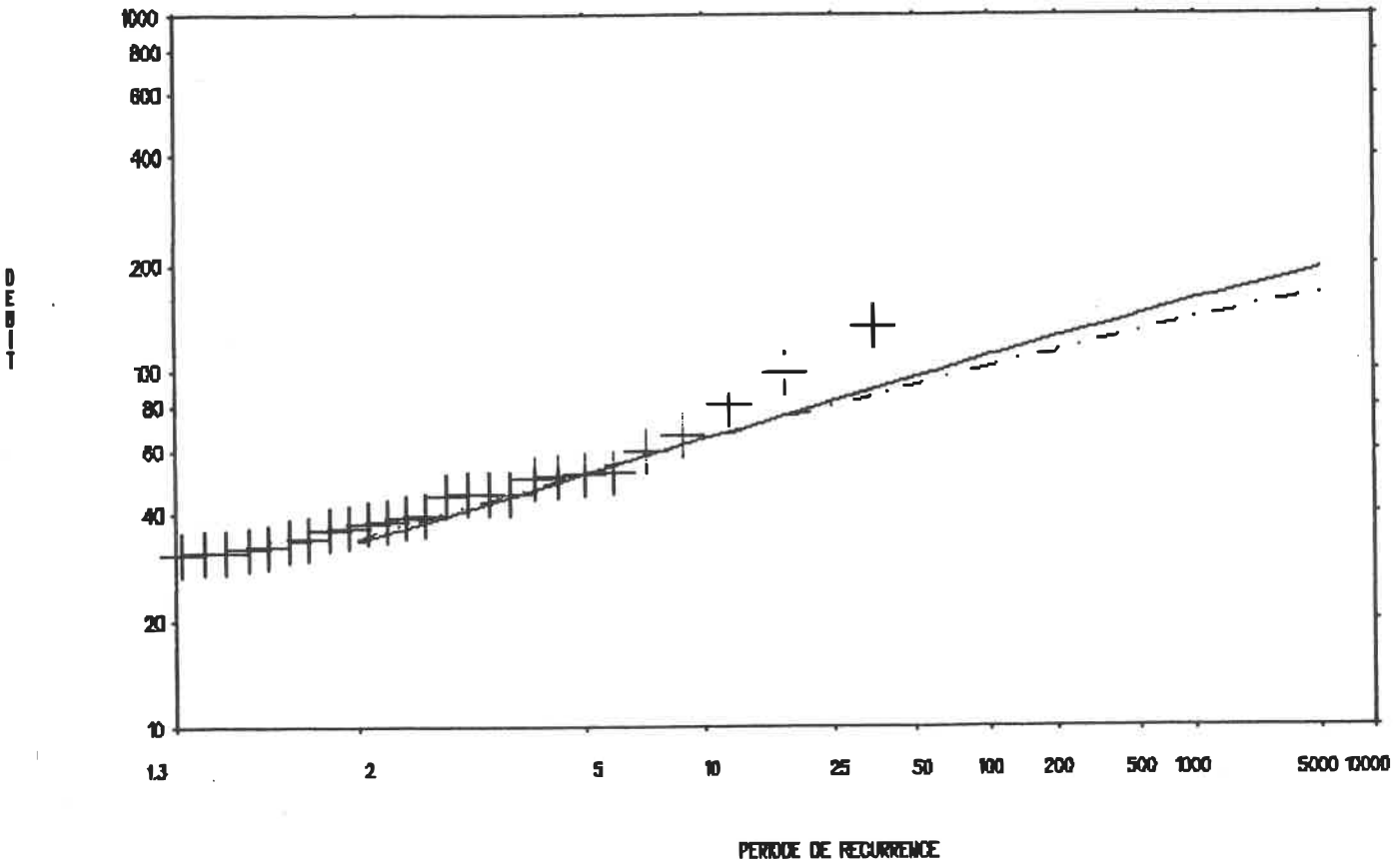


B10.a - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B10 - Station 01DB002



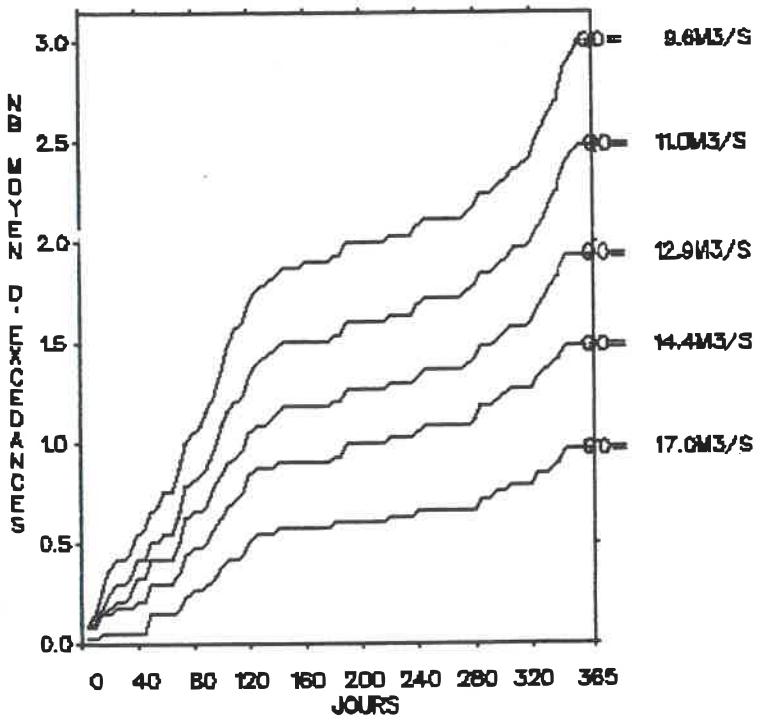
B10.b - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



B10.c - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

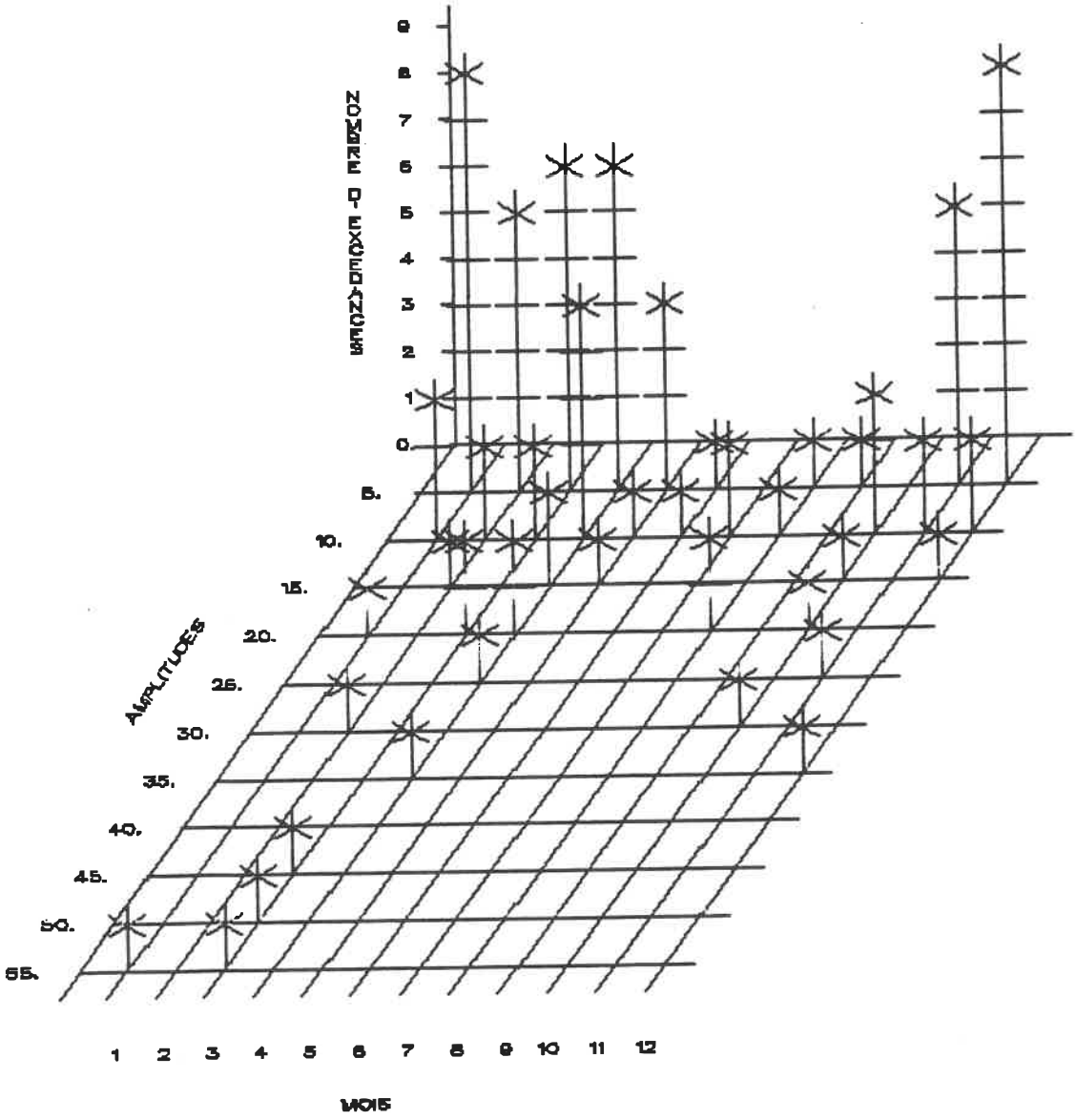
——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

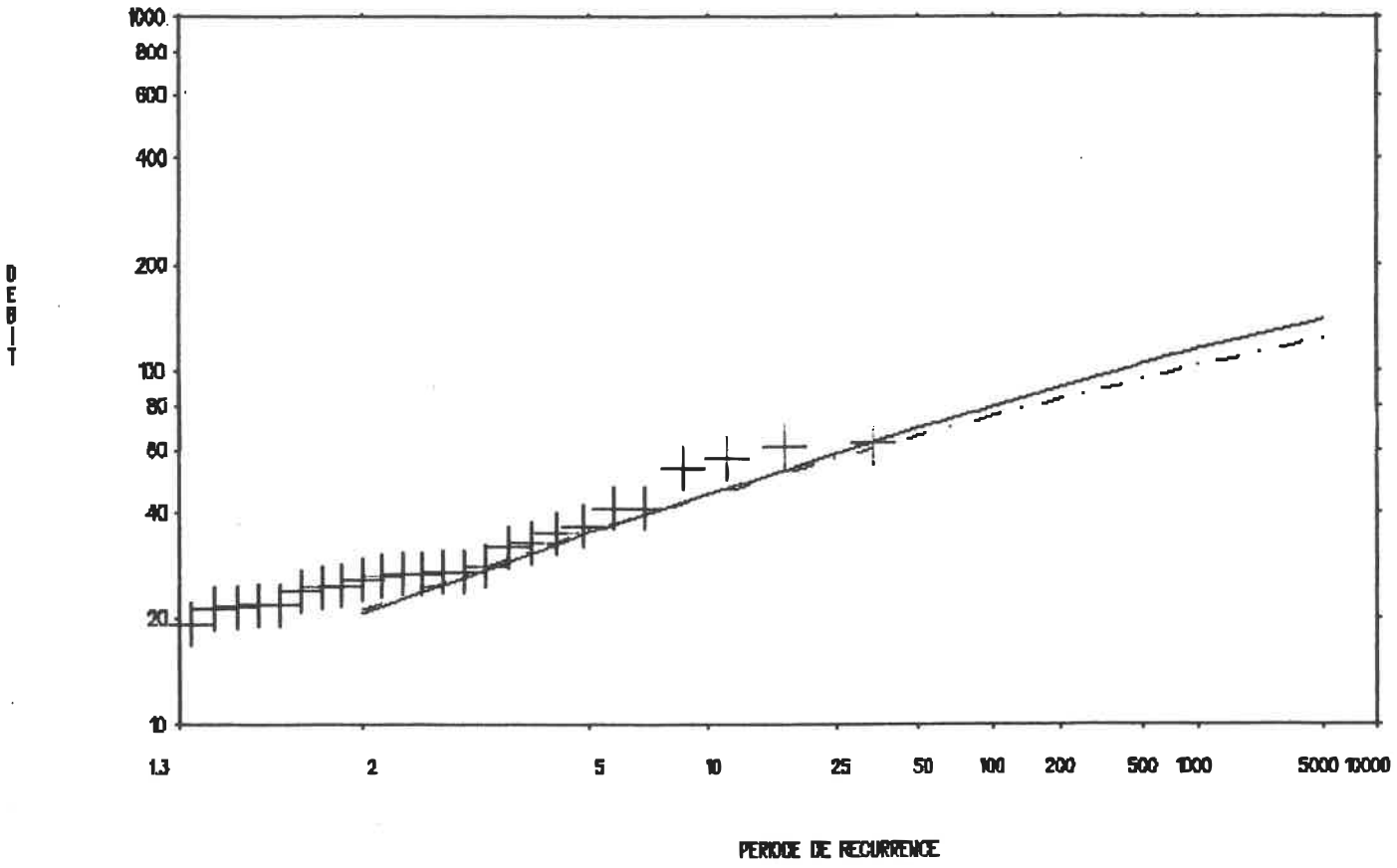


B11.a - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B11 - Station 01DC003



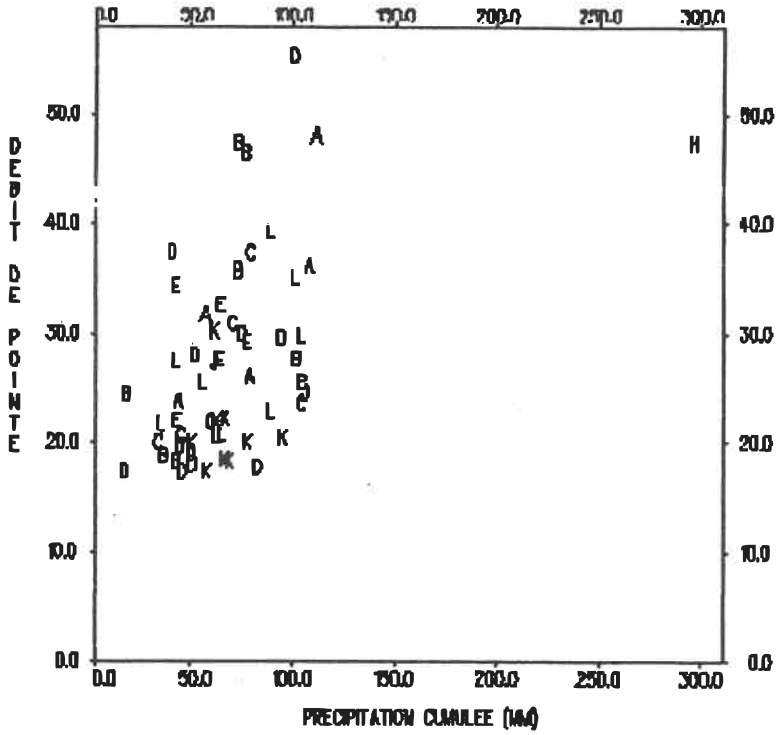
B11.b - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



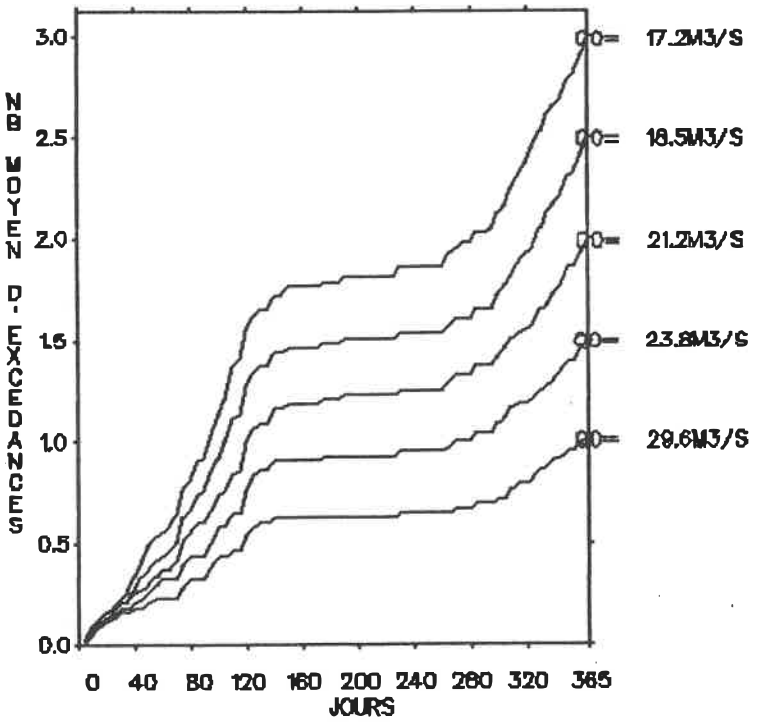
B11.c - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

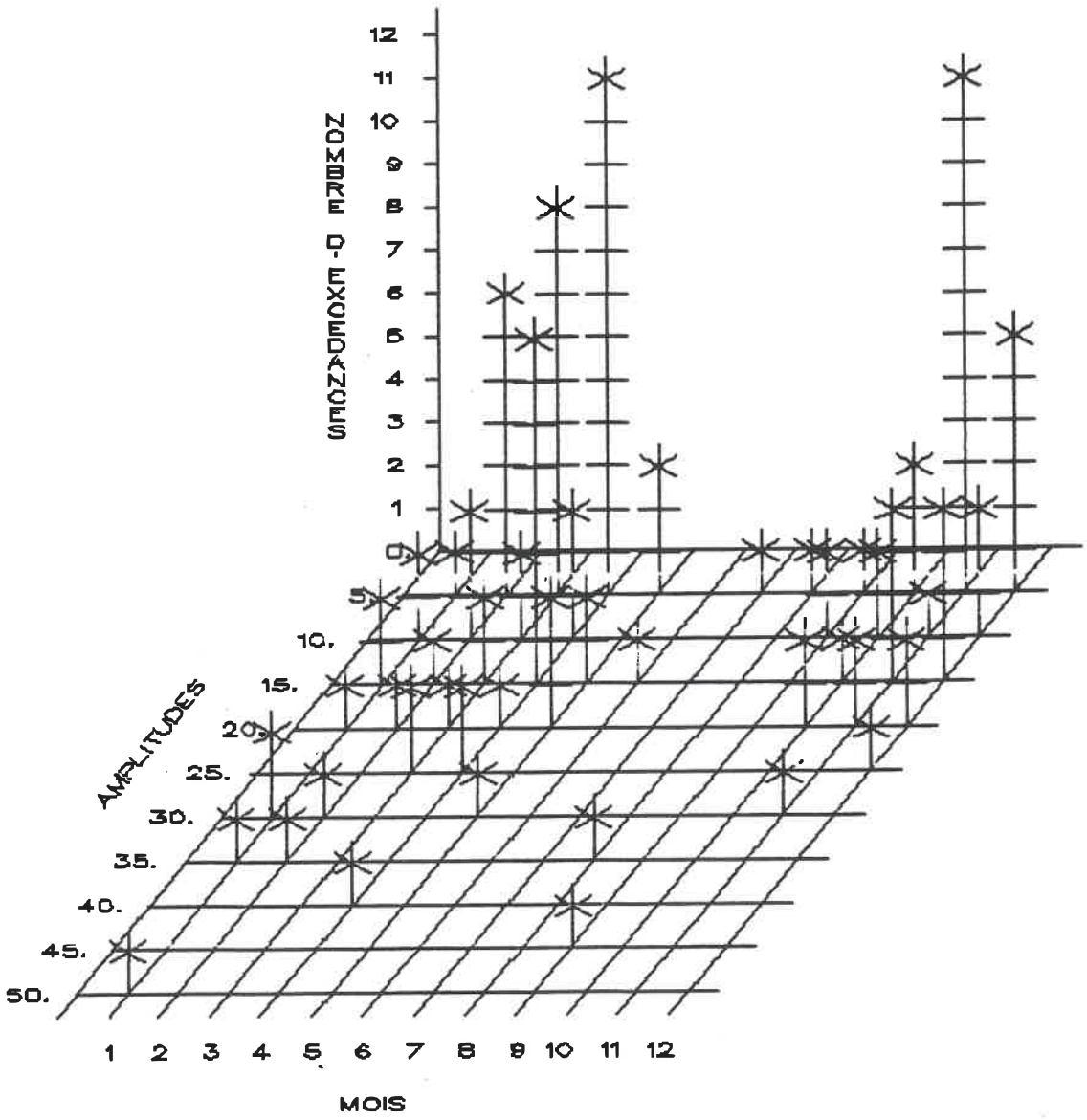


B12.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

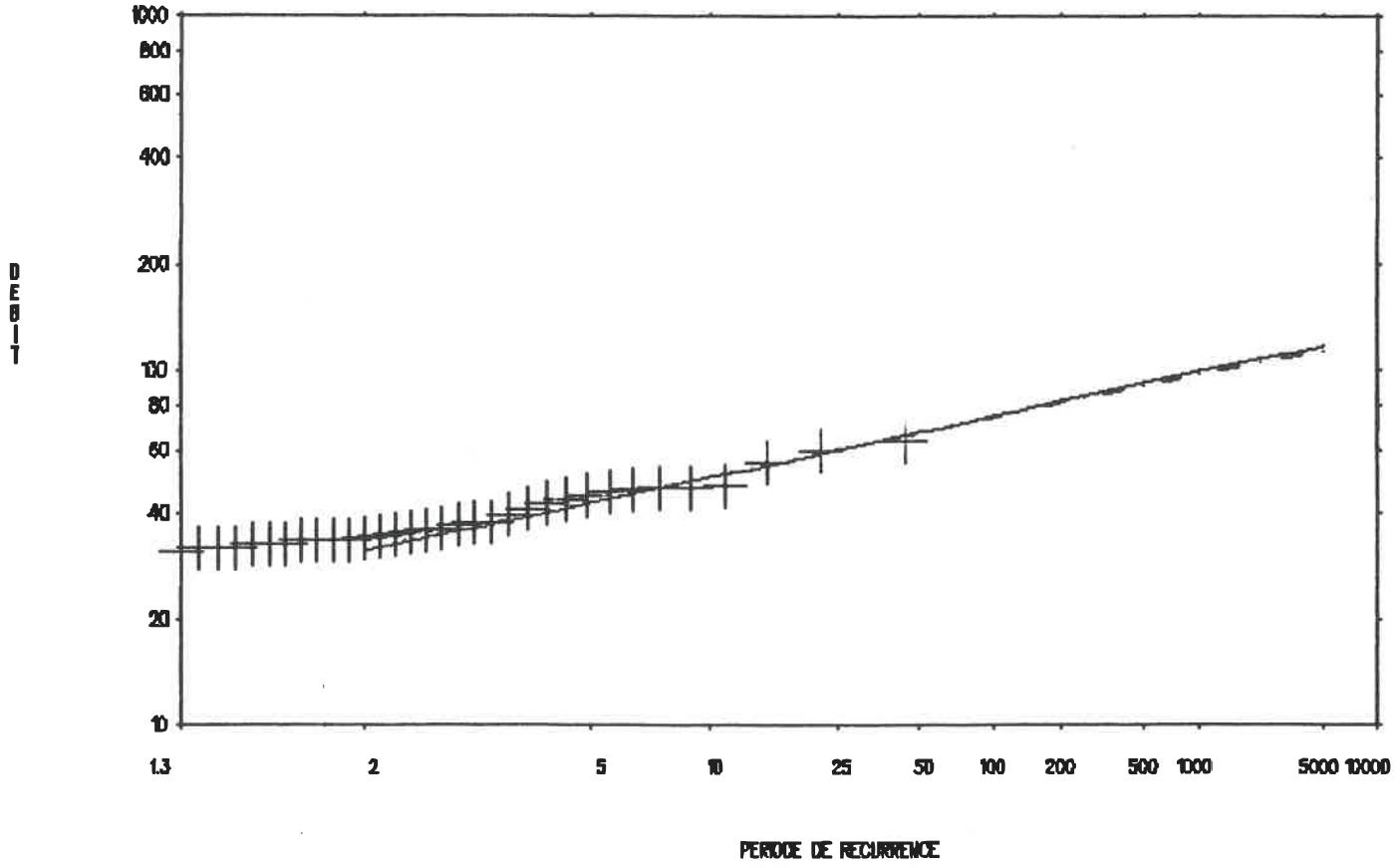


B12.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B12 - Station 01DG003



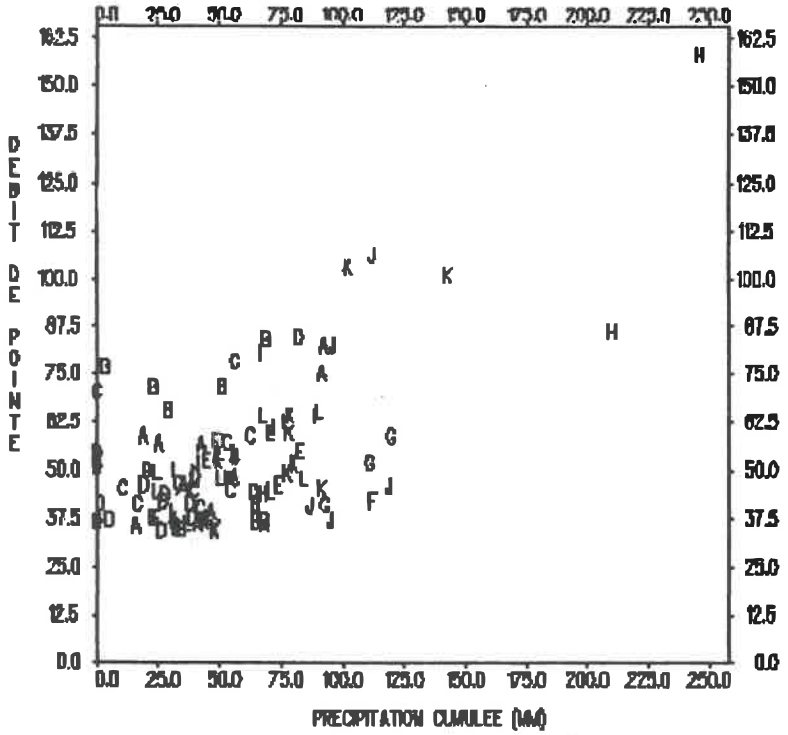
B12.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



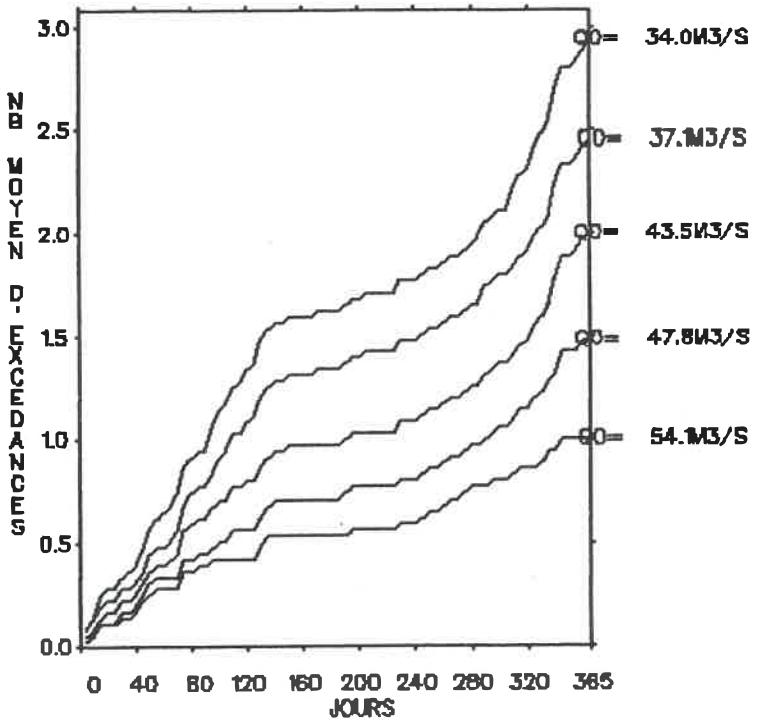
B12.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

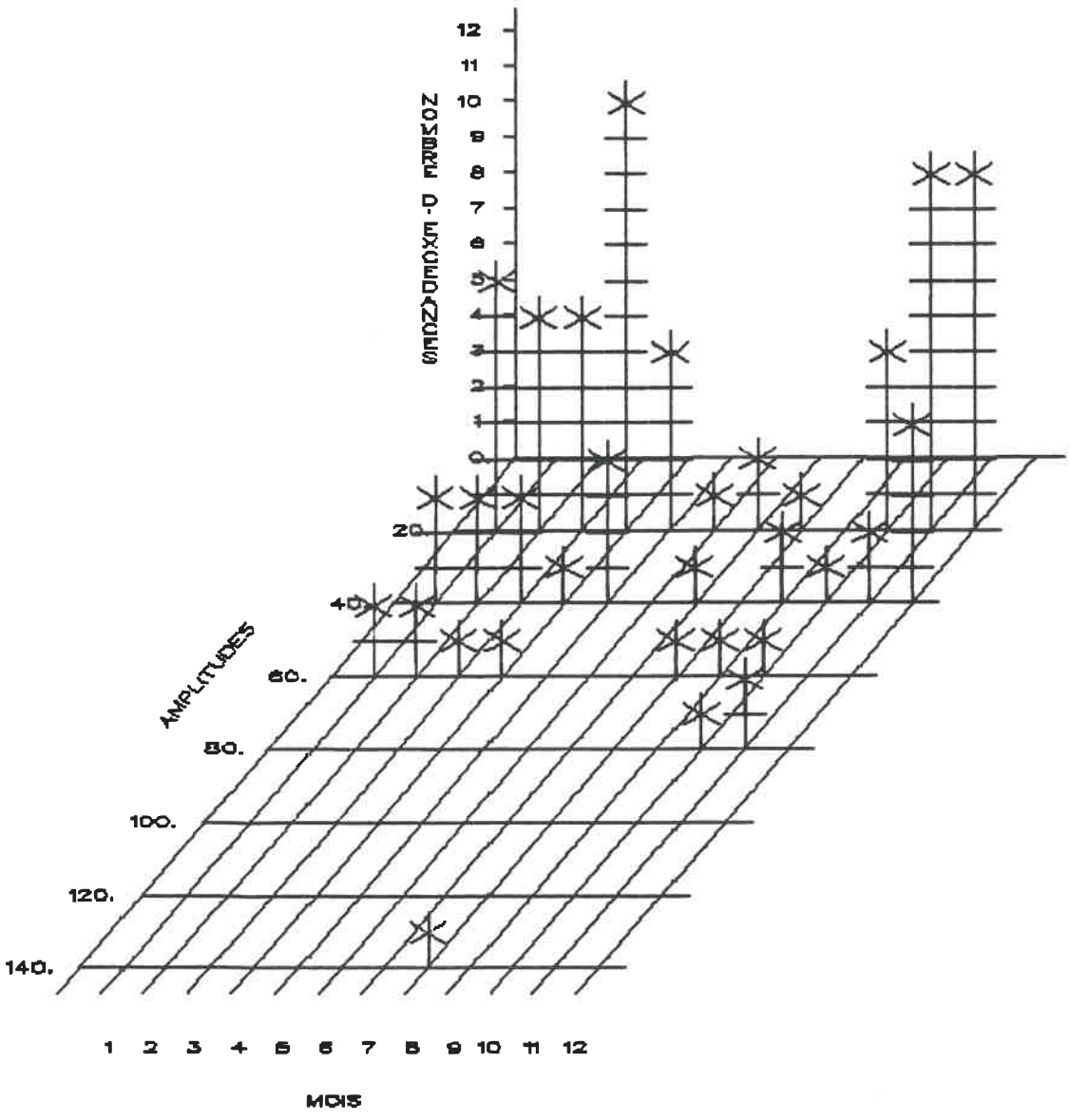


B13.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

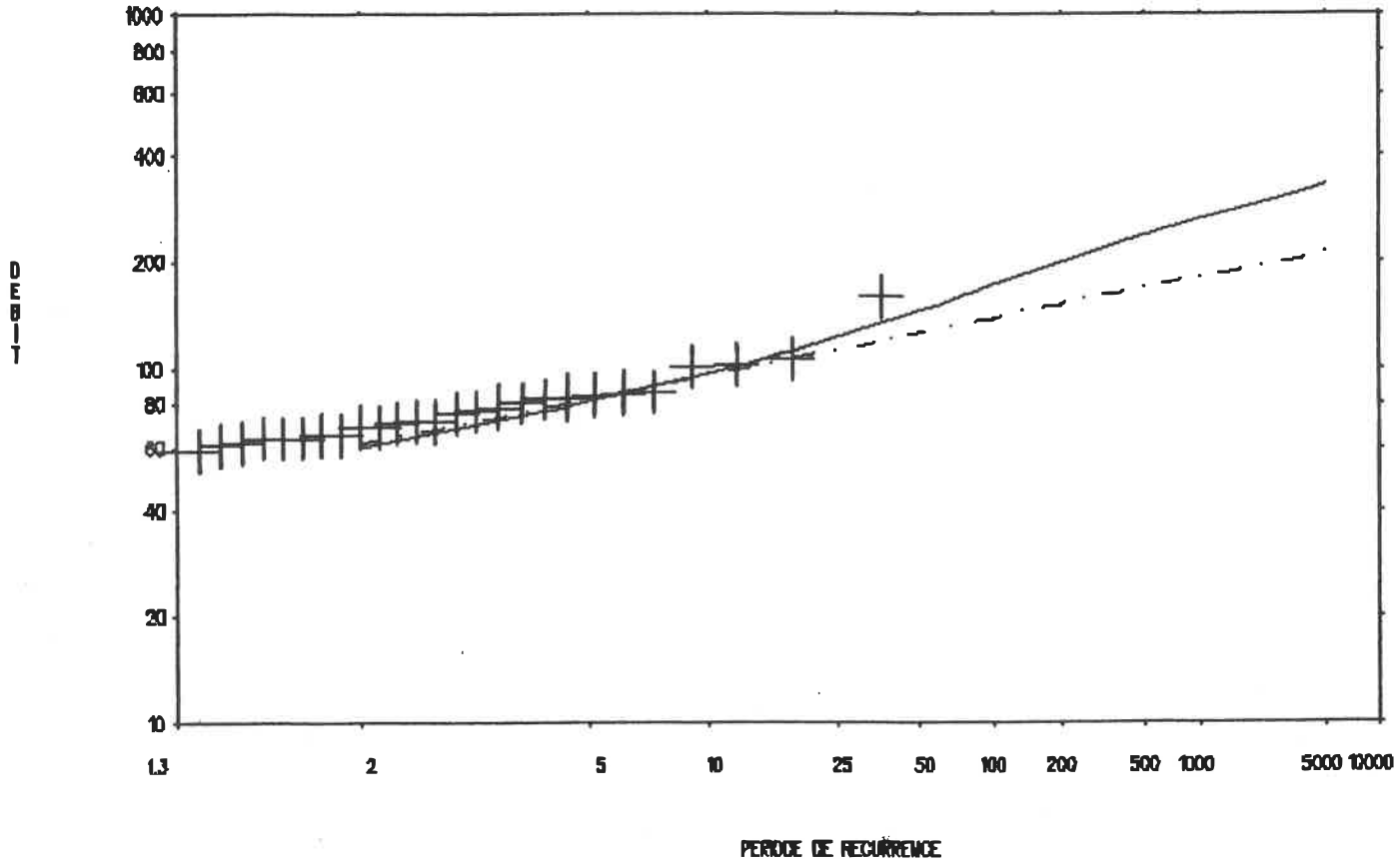


B13.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B13 - Station 01DR001



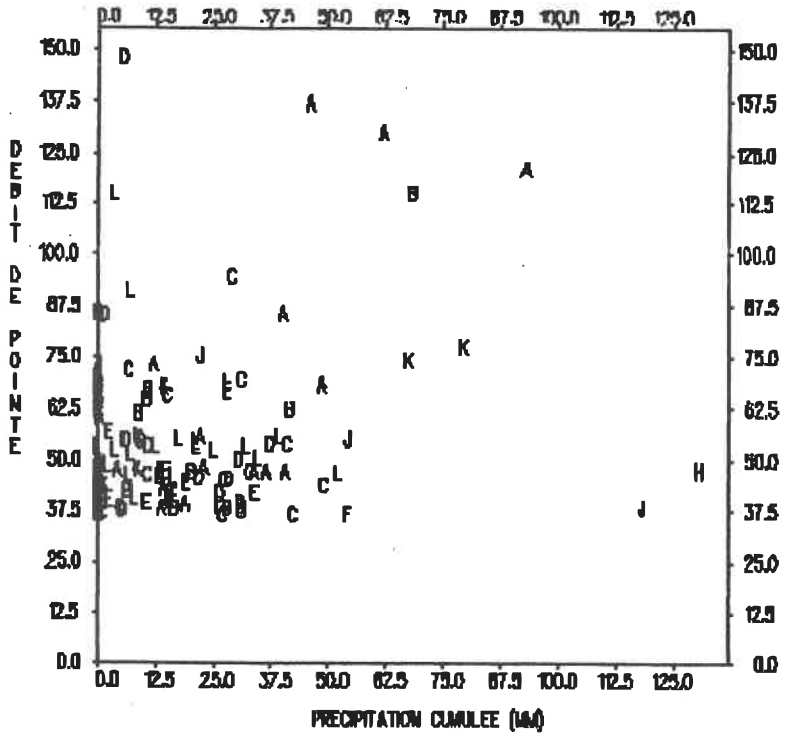
B13.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



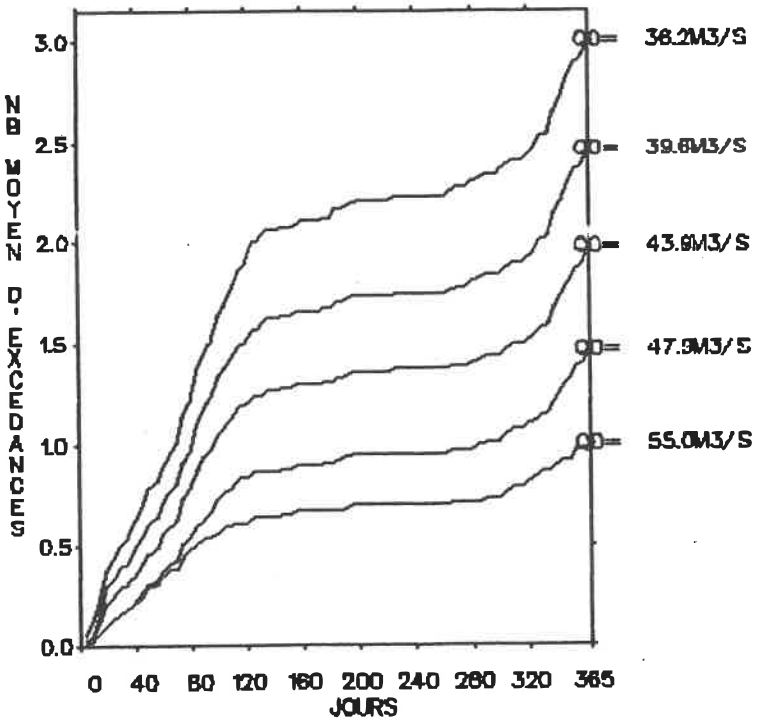
B13.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

—— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

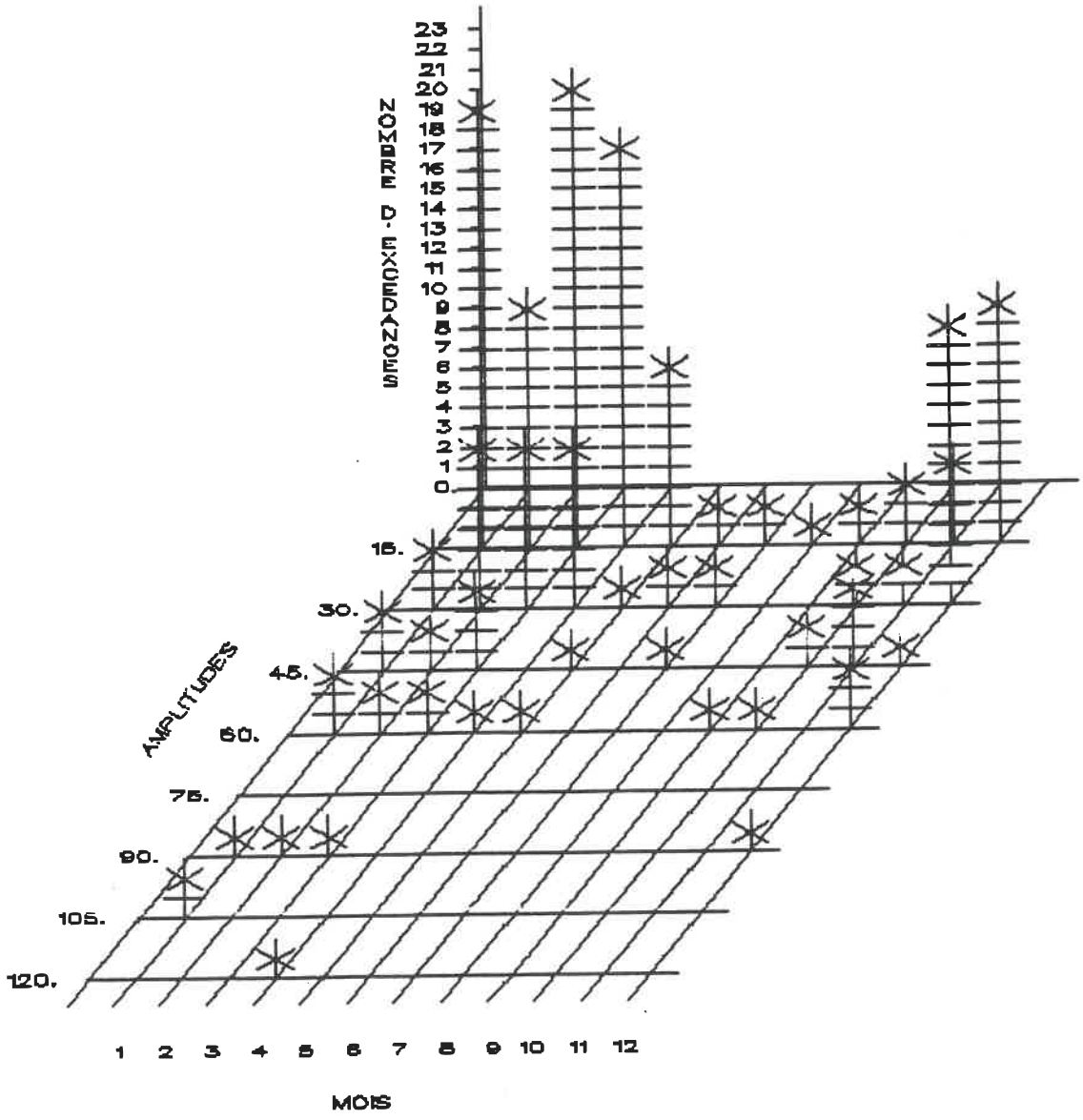


B14.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

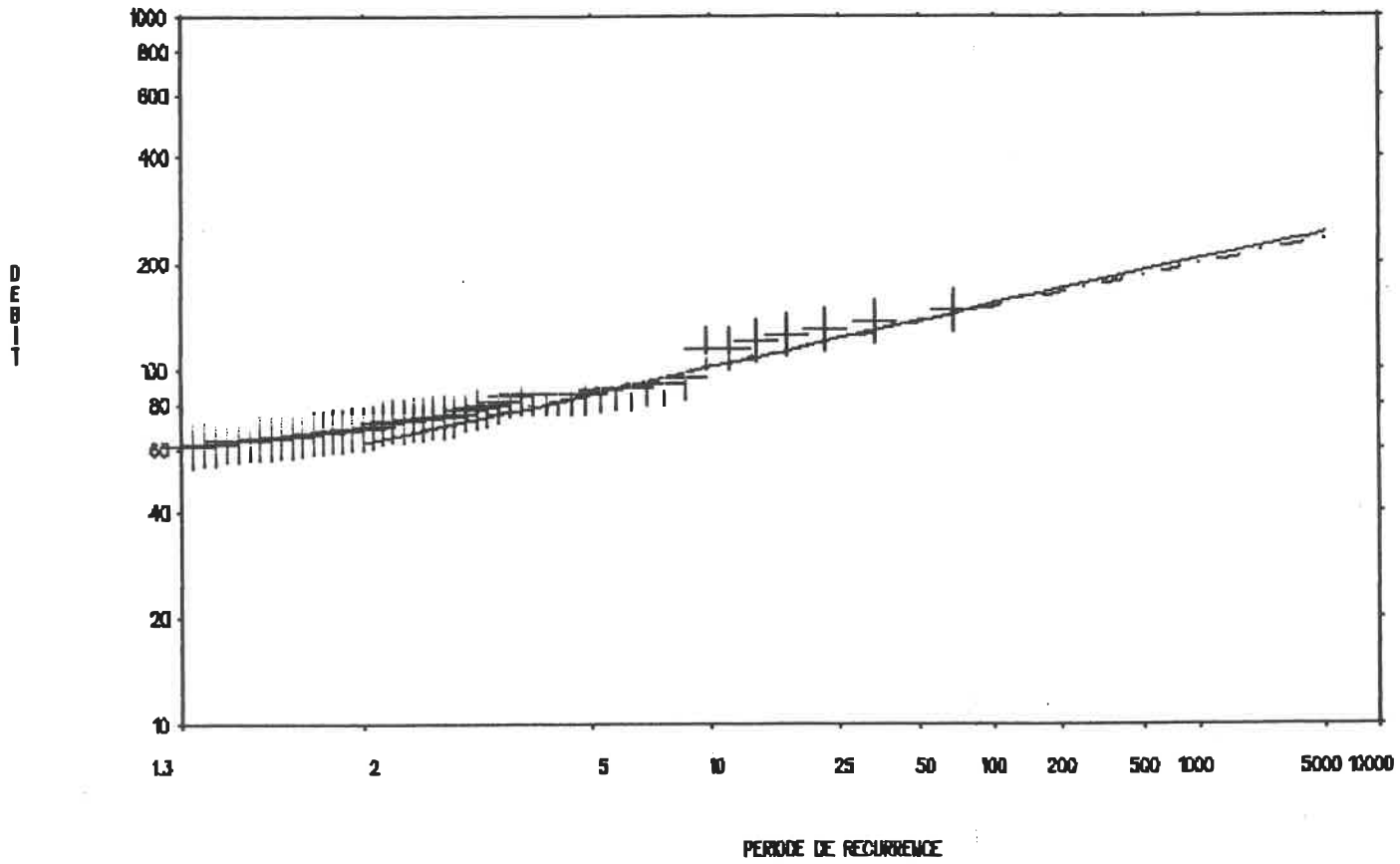


B14.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B14 - Station 01EC001



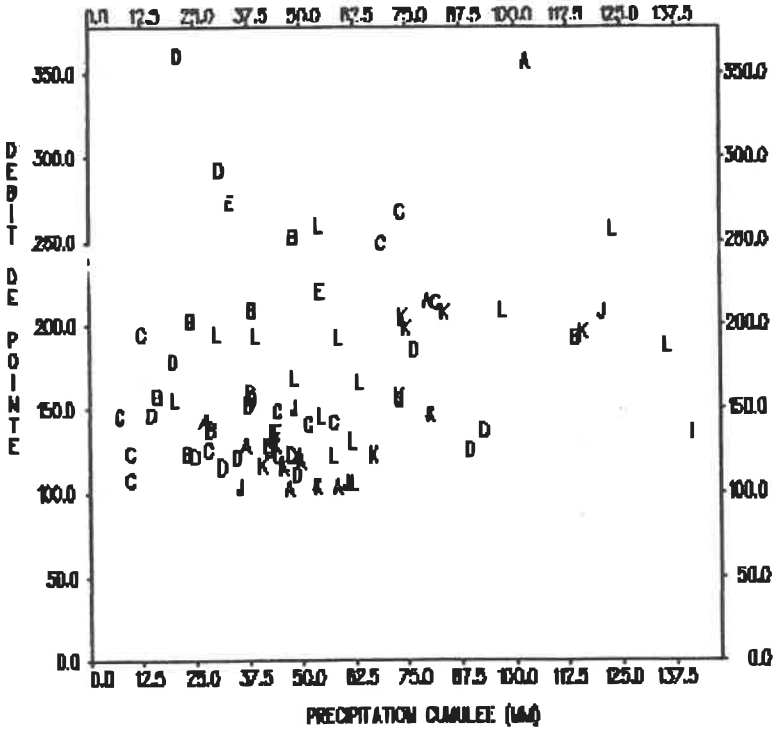
B14.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



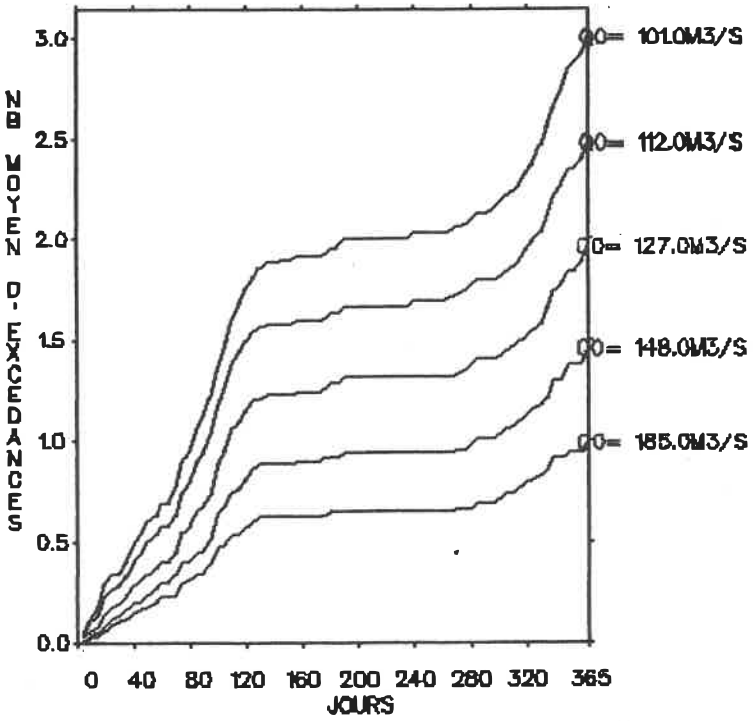
B14.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

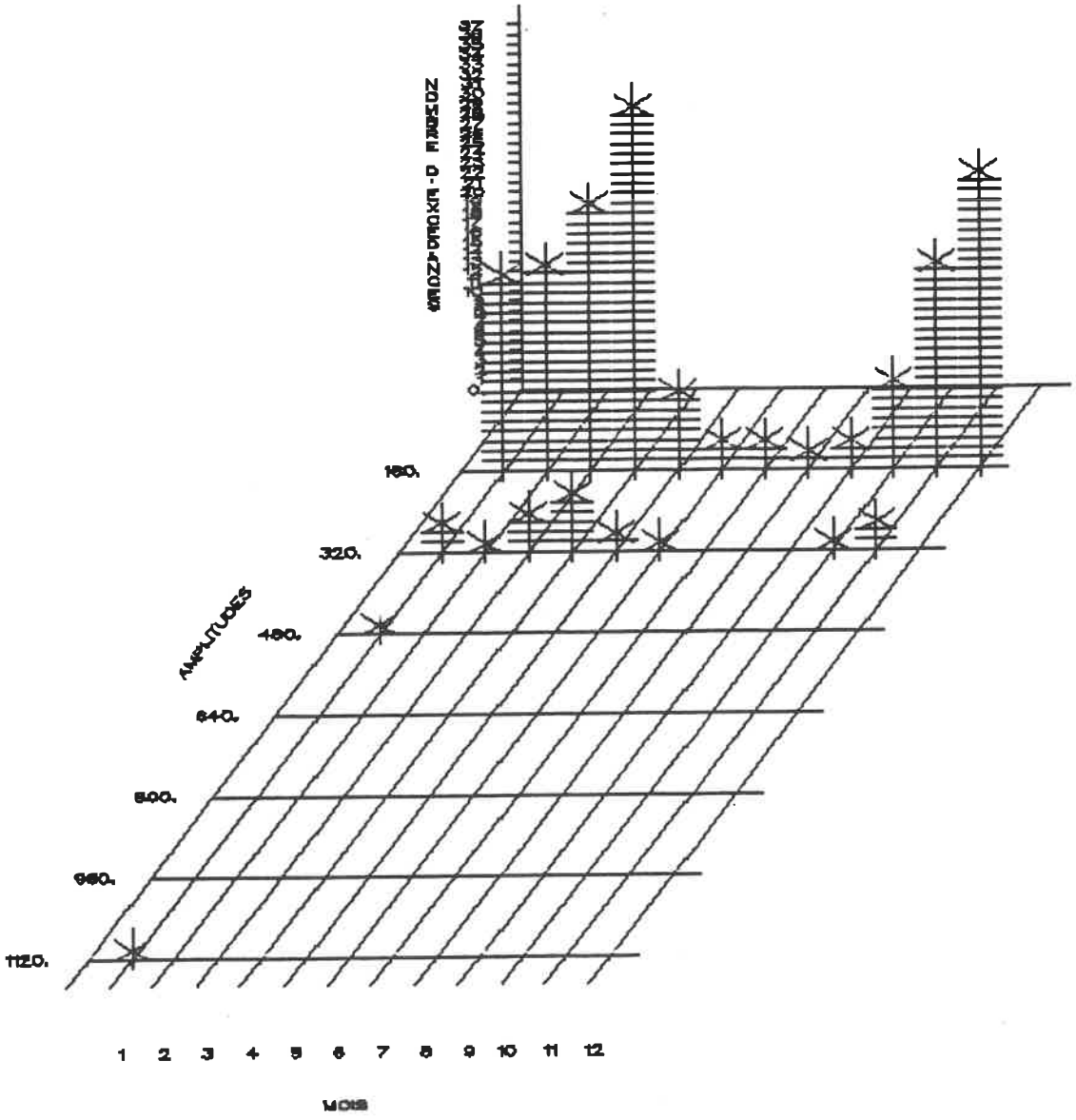


B15.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

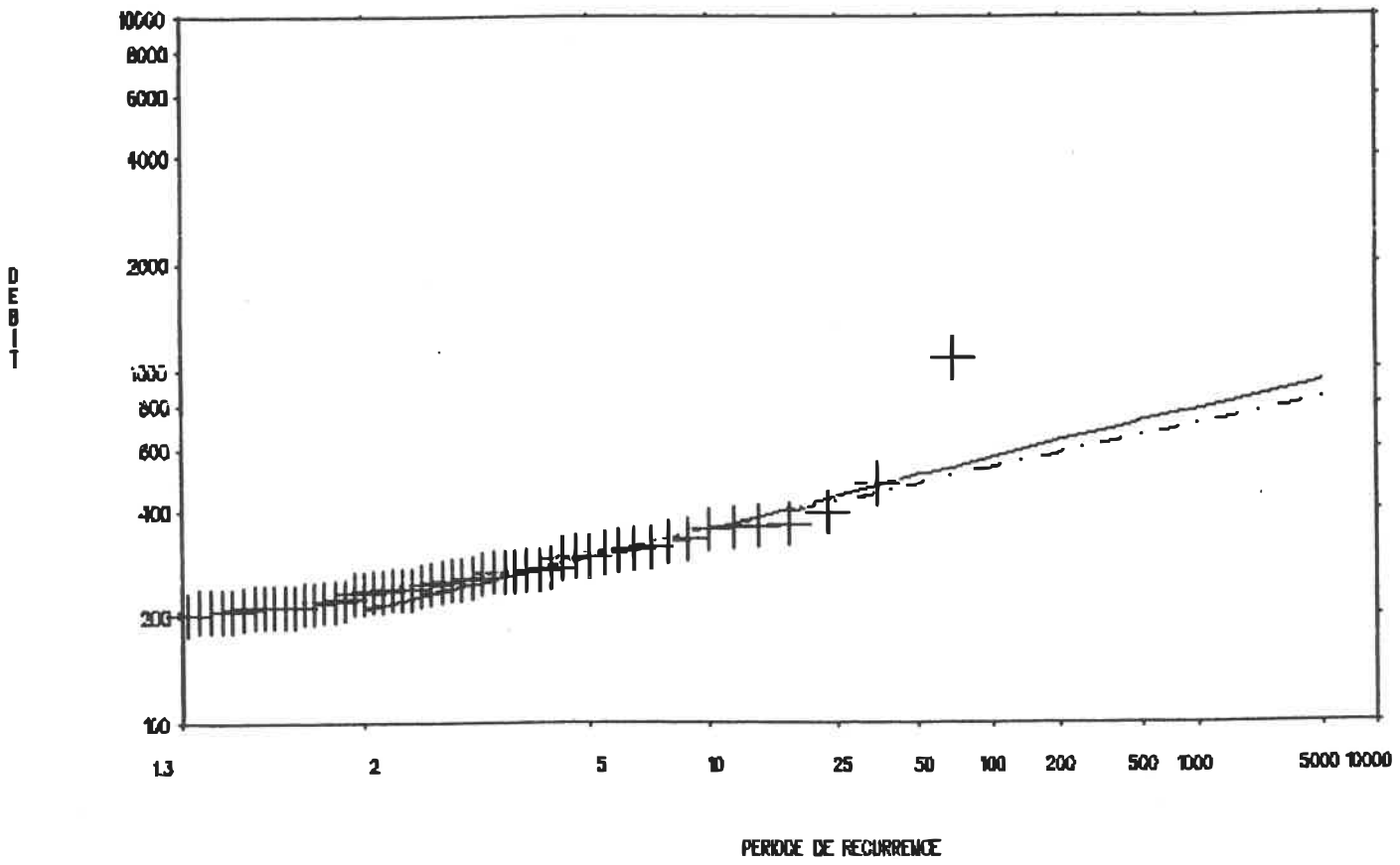


B15.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B15 - Station 01EF001



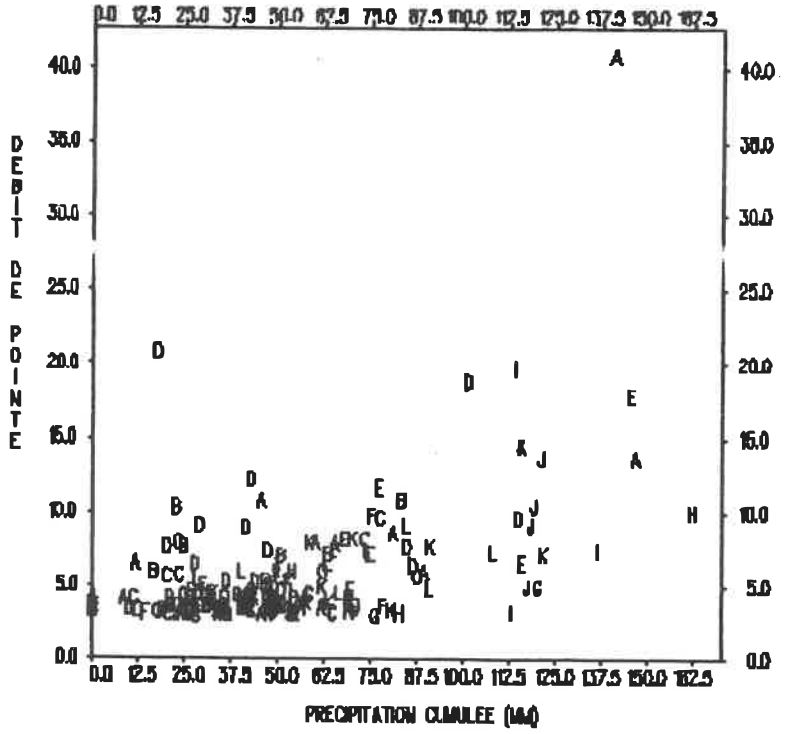
B15.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



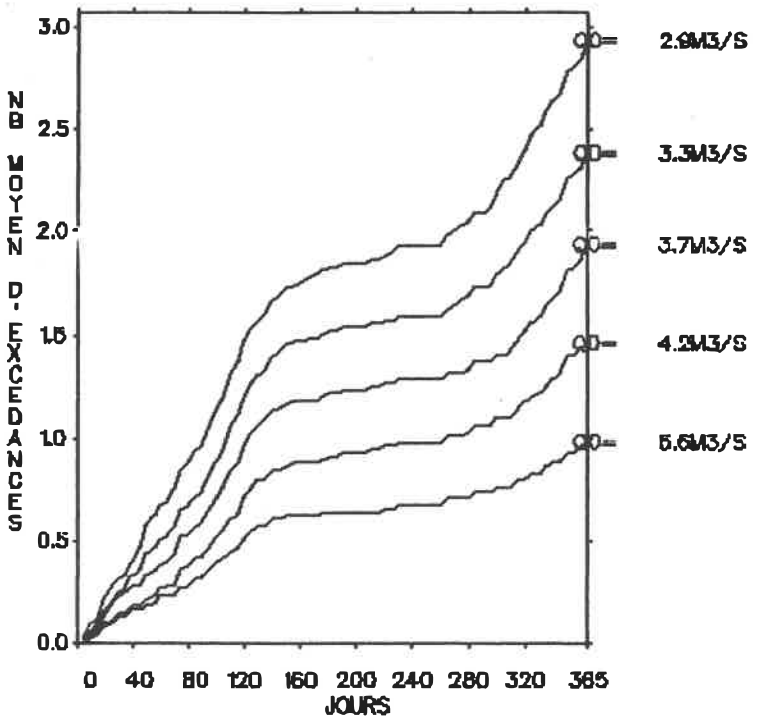
B15.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

—— découpage en périodes homogènes

– – analyse annuelle

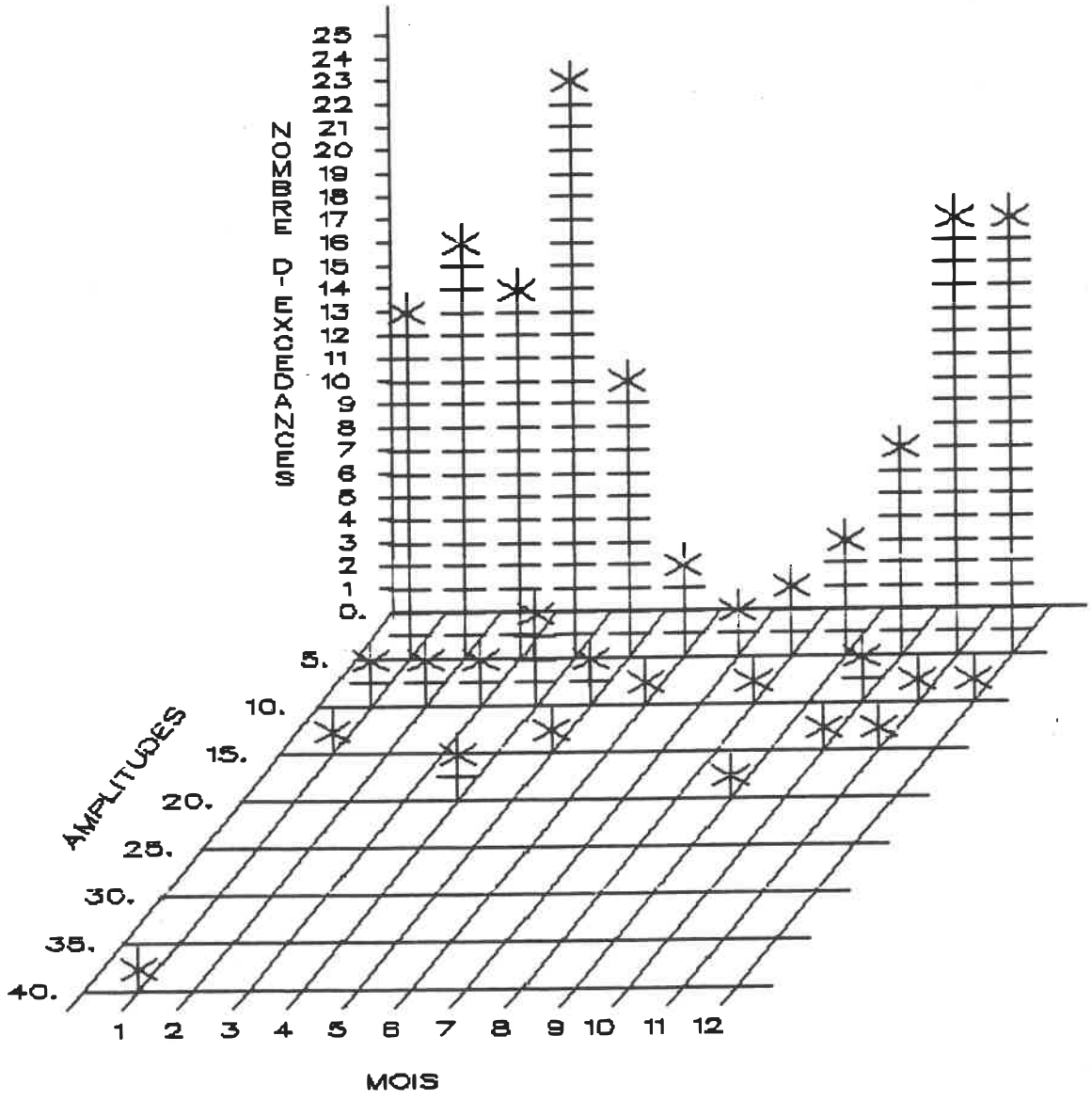


B16.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

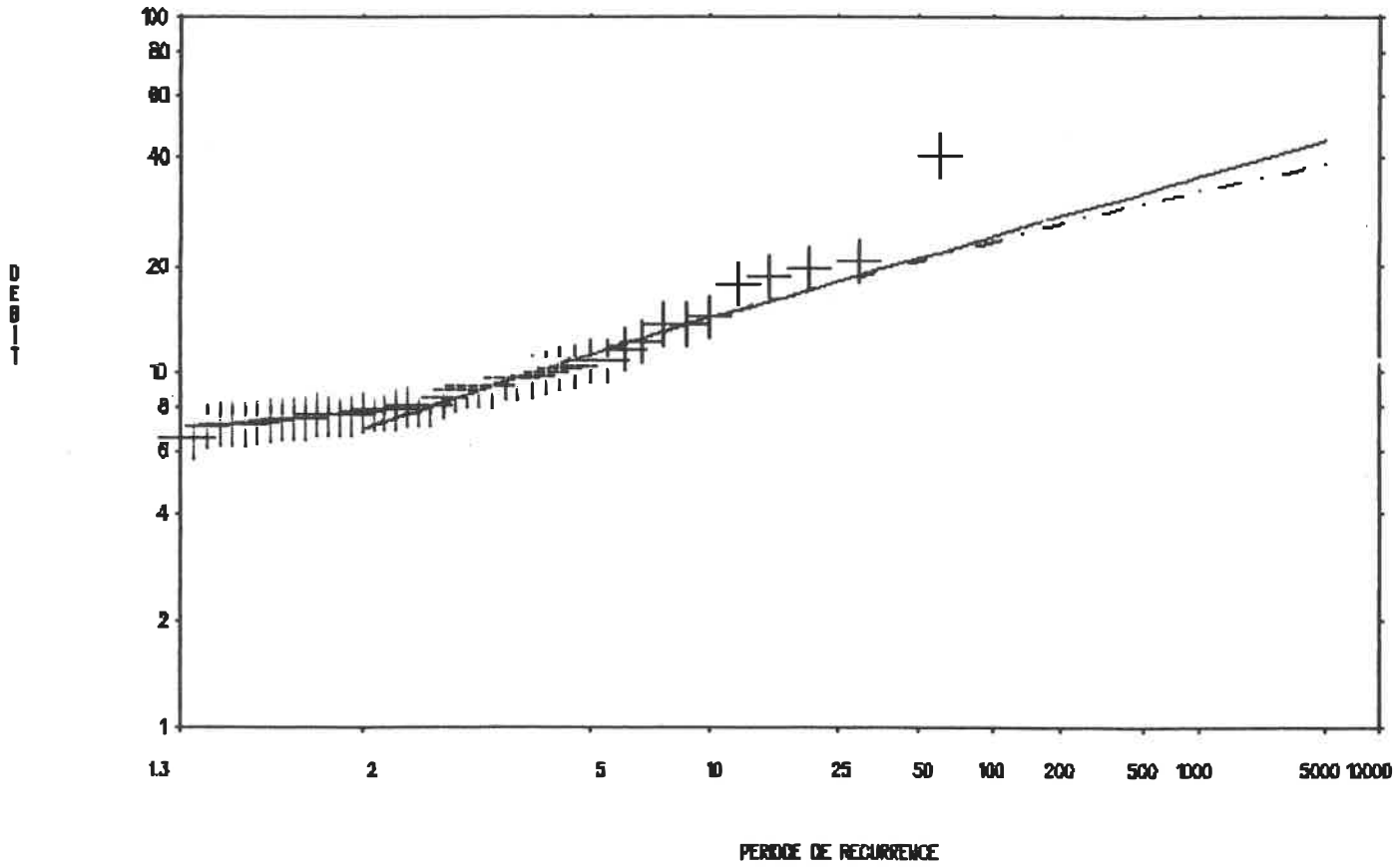


B16.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B16 - Station 01EH003



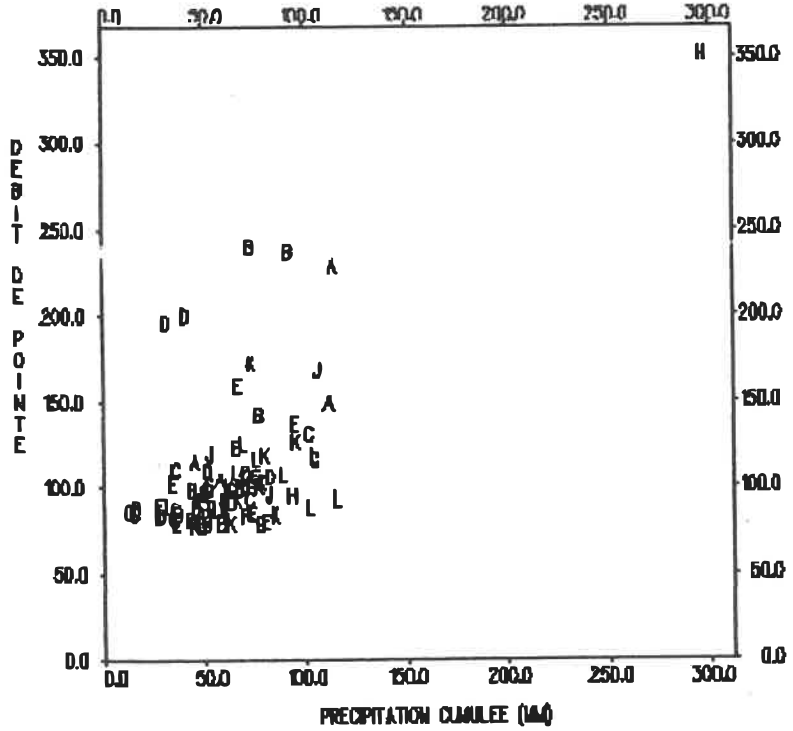
B16.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



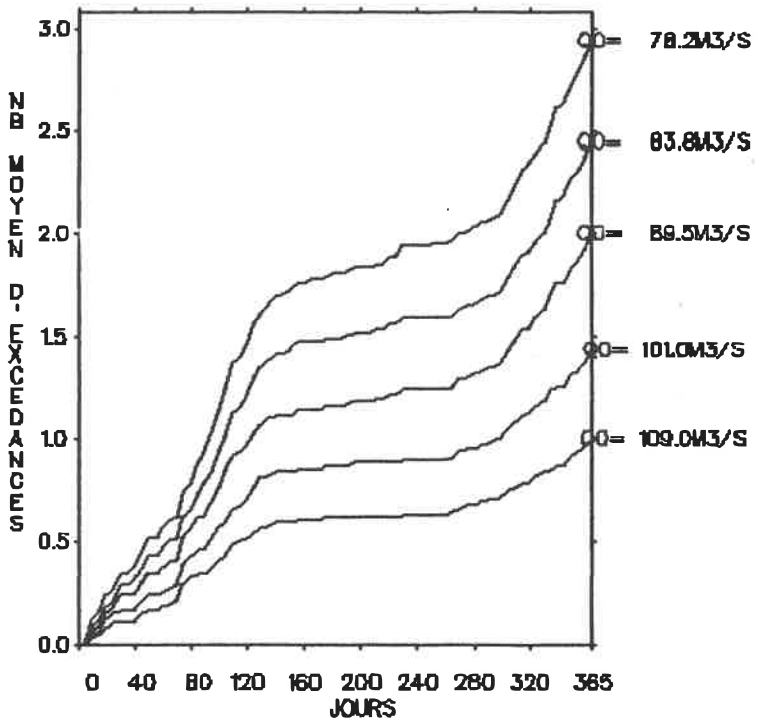
B16.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

—— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

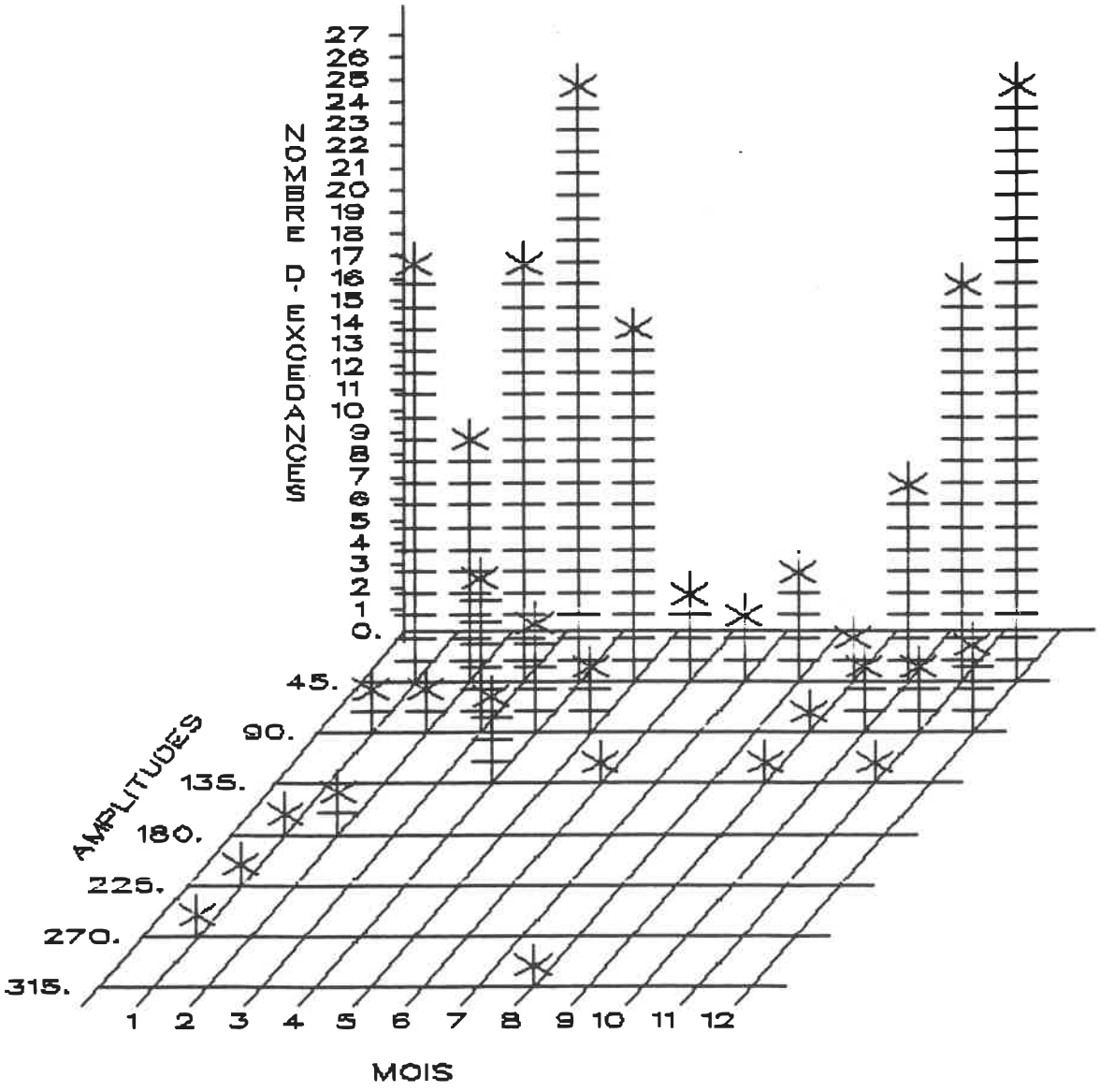


B17.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

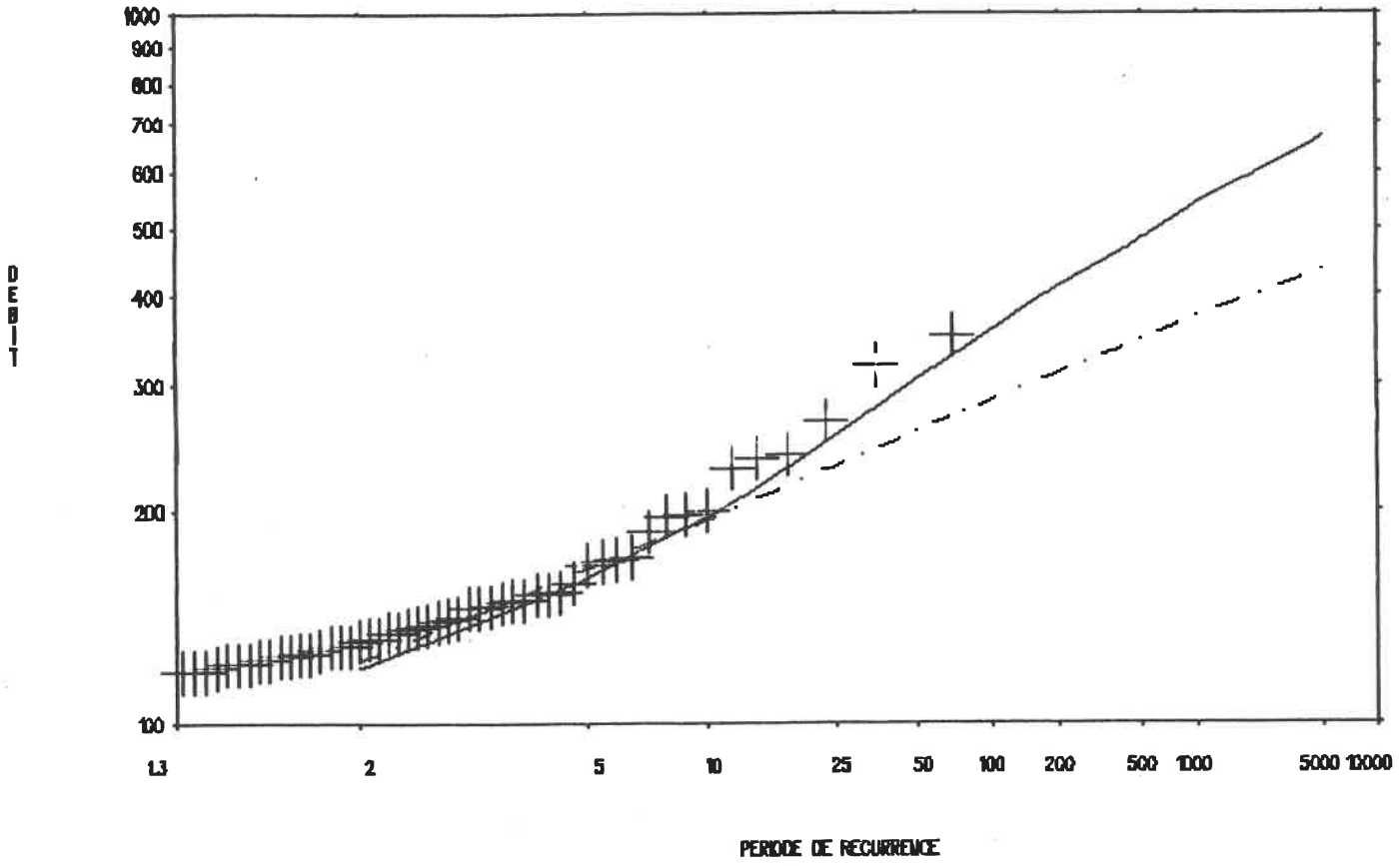


B17.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B17 - Station 01EK001



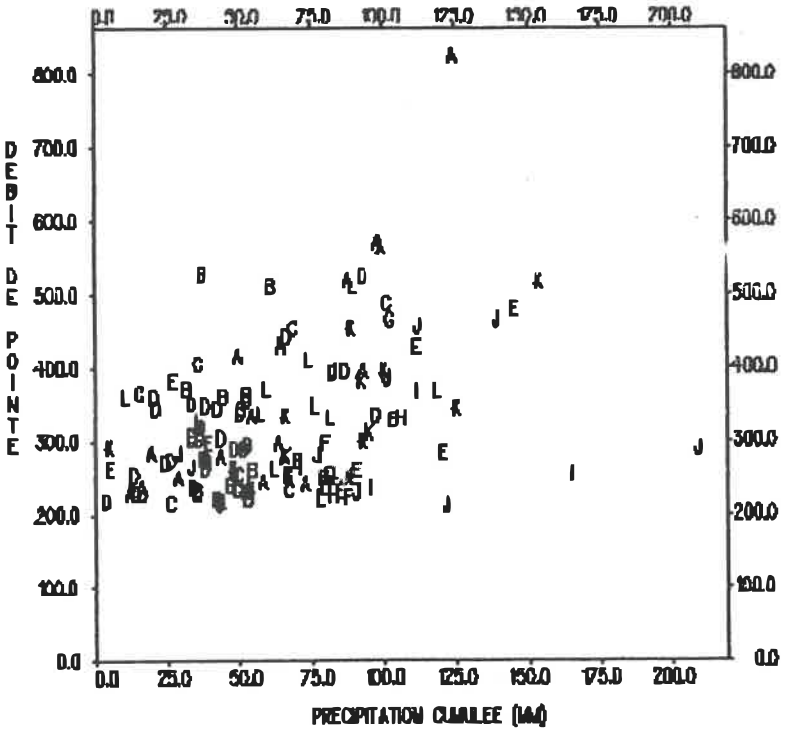
B17.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois

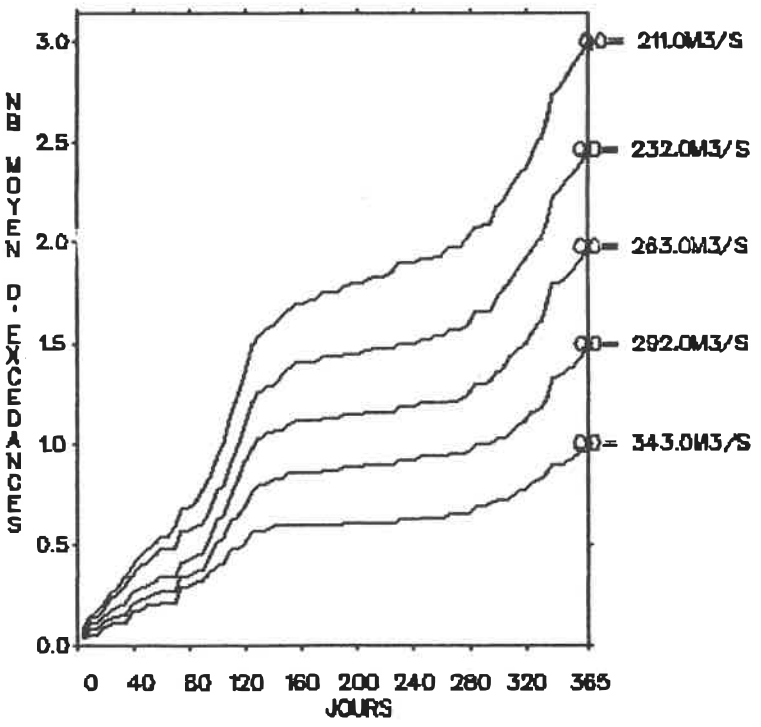


B17.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

—— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

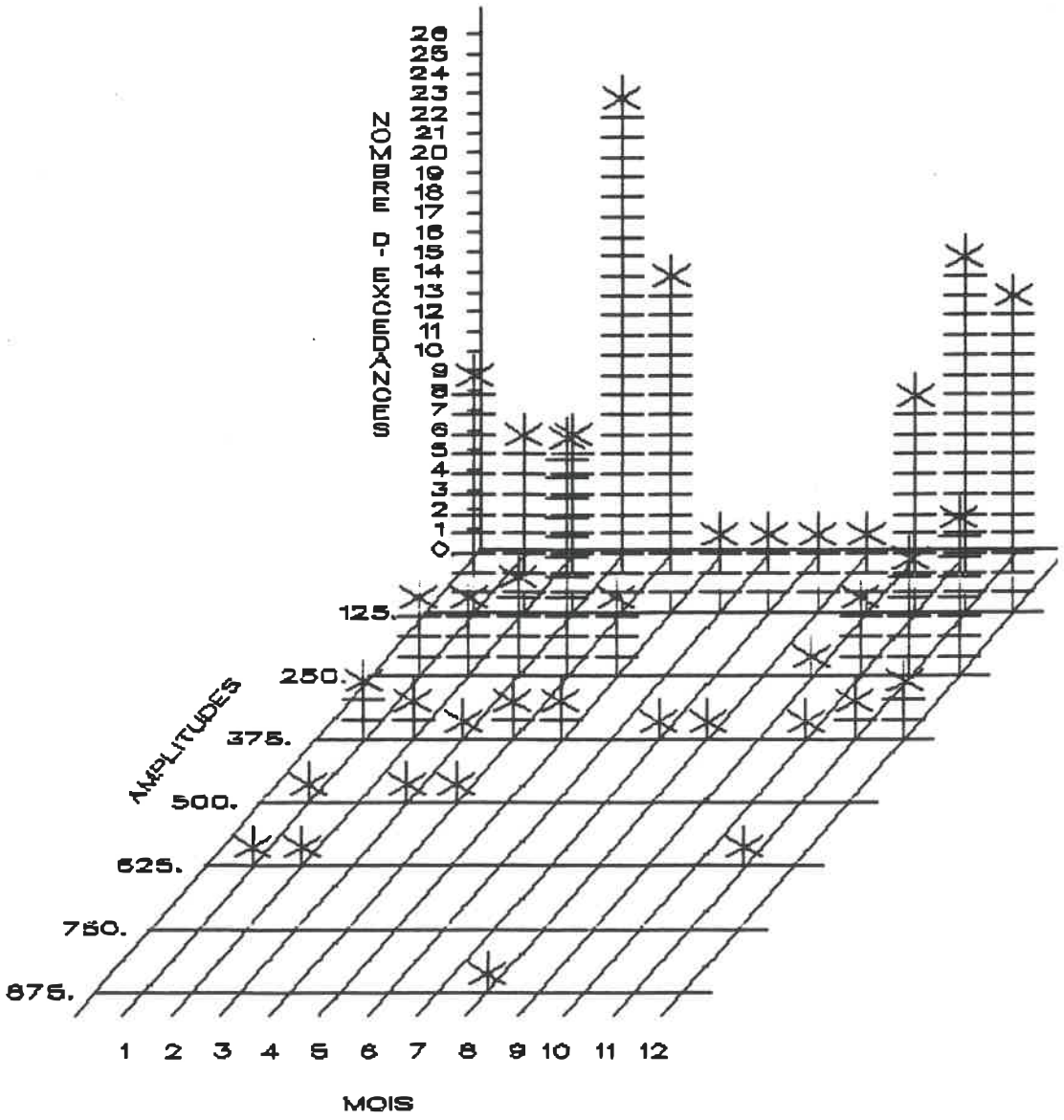




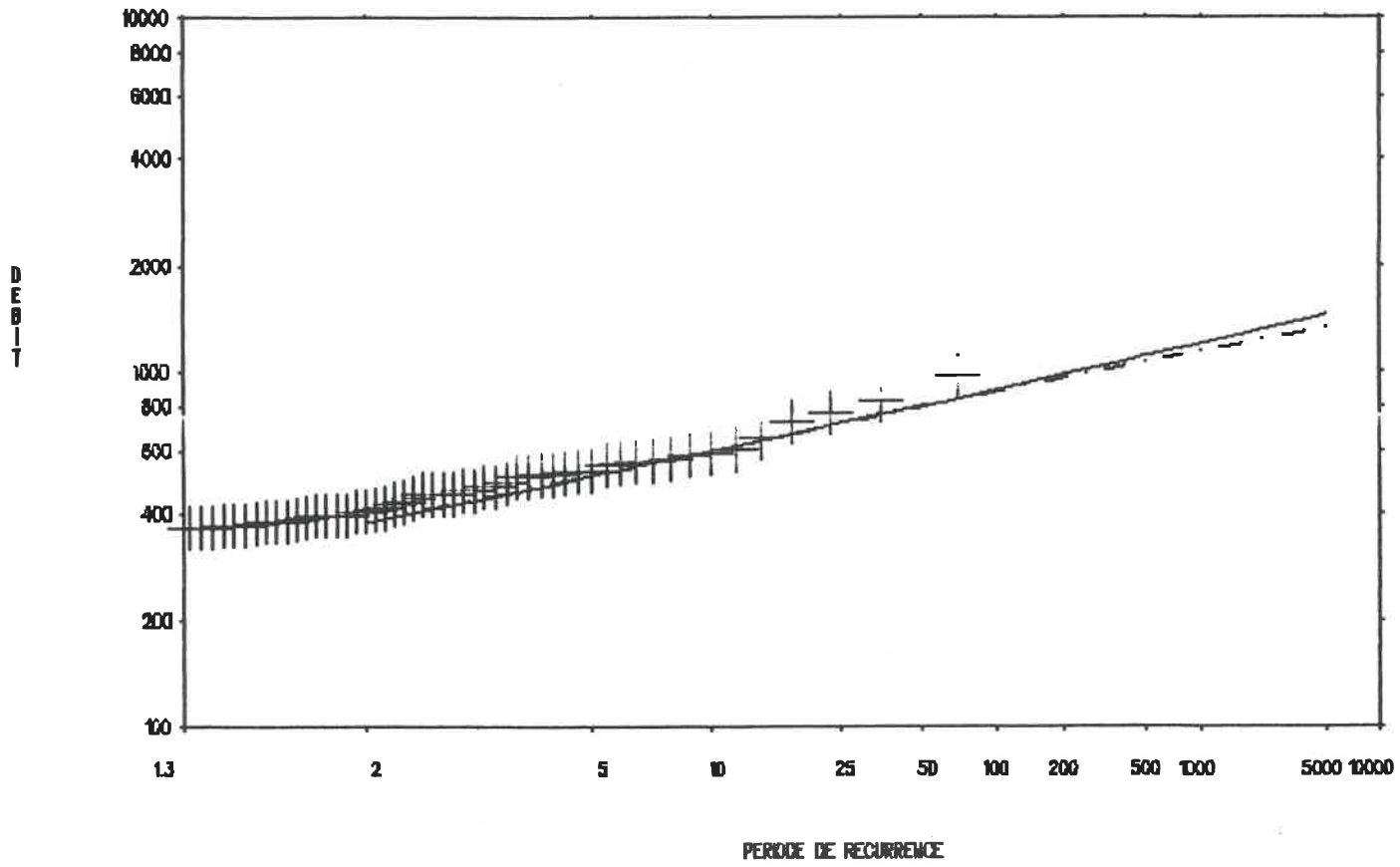
B18.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

B18.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B18 - Station 01E0001



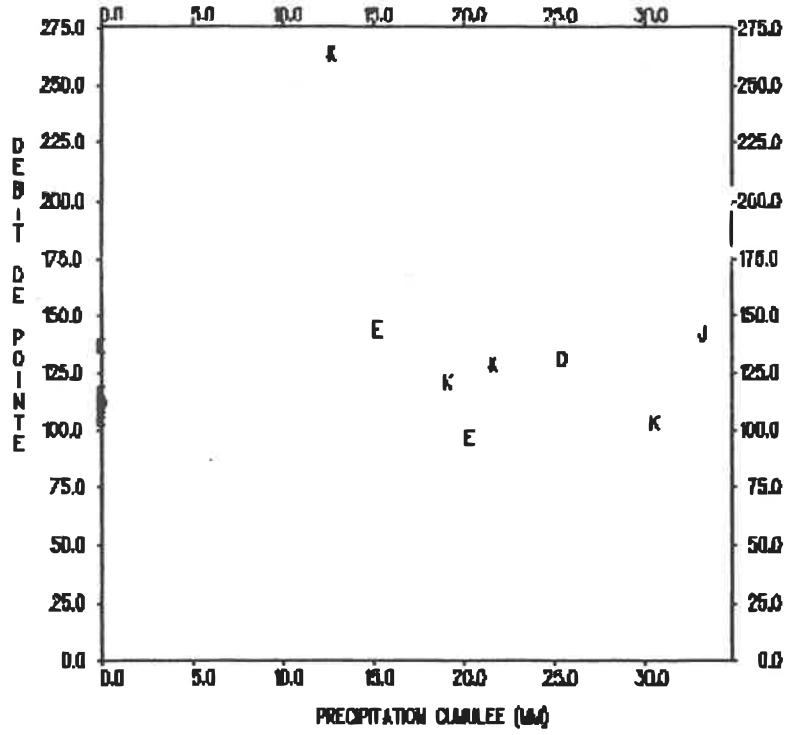
B18.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



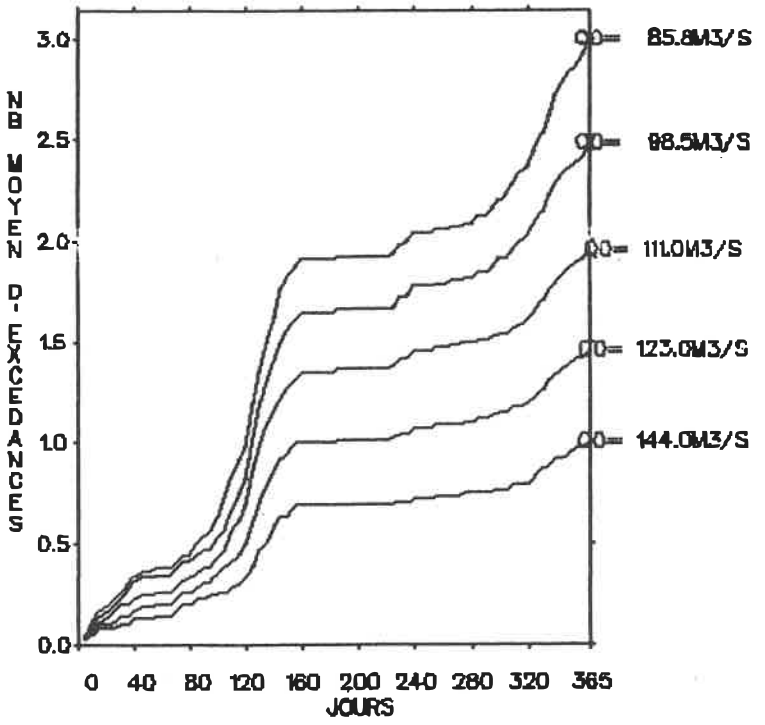
B18.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

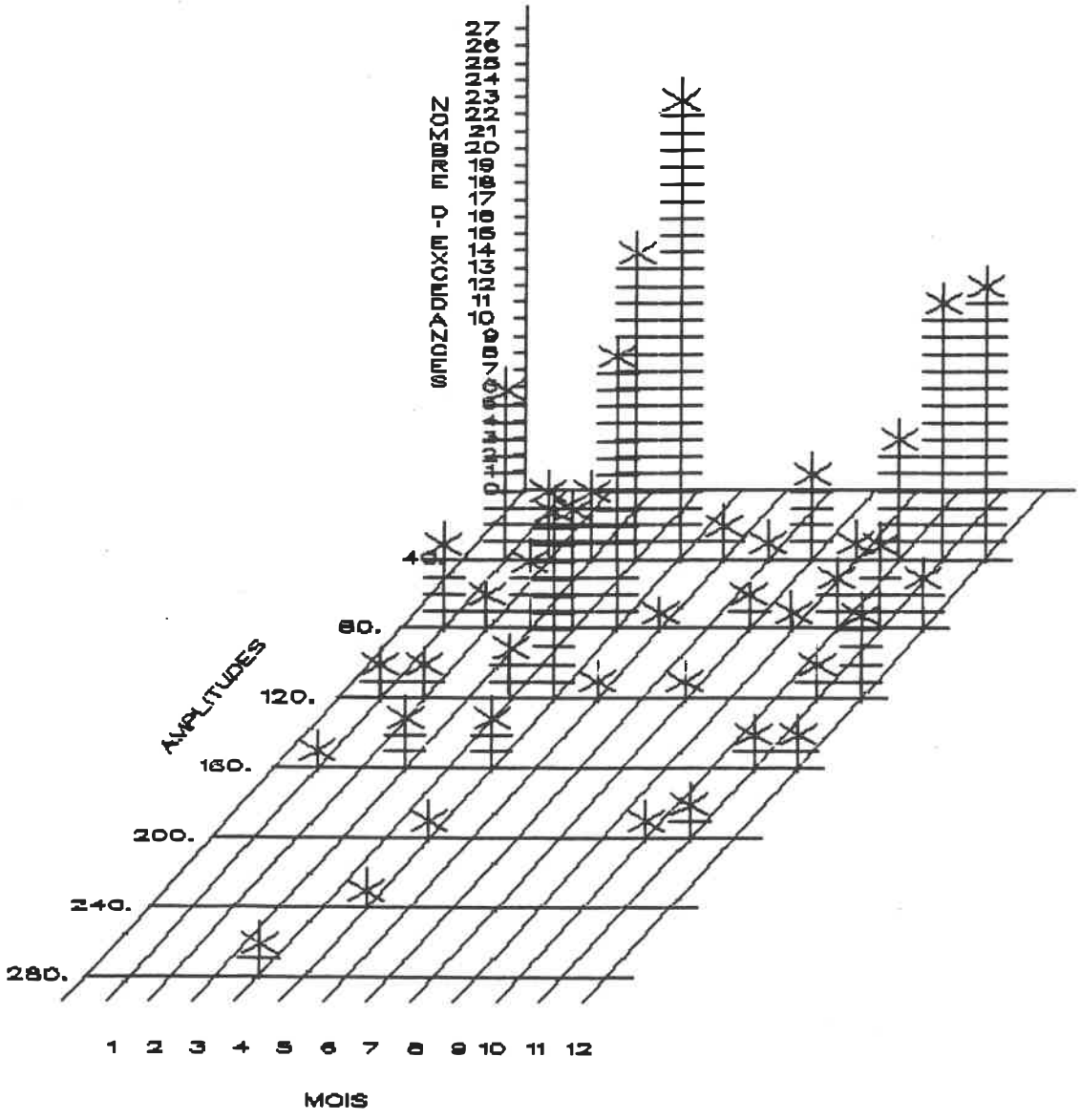


B19.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

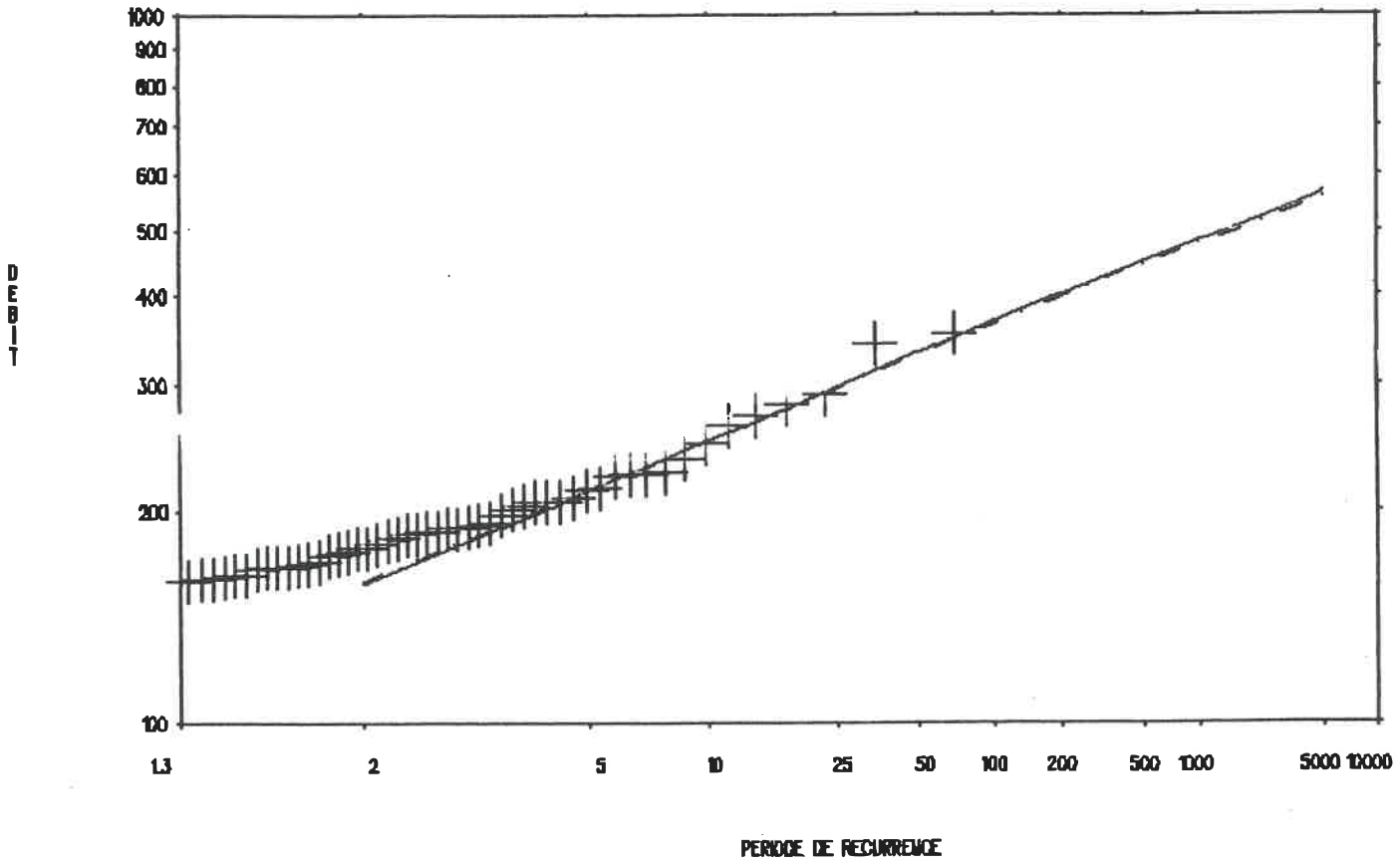


B19.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B19 - Station 01FB001



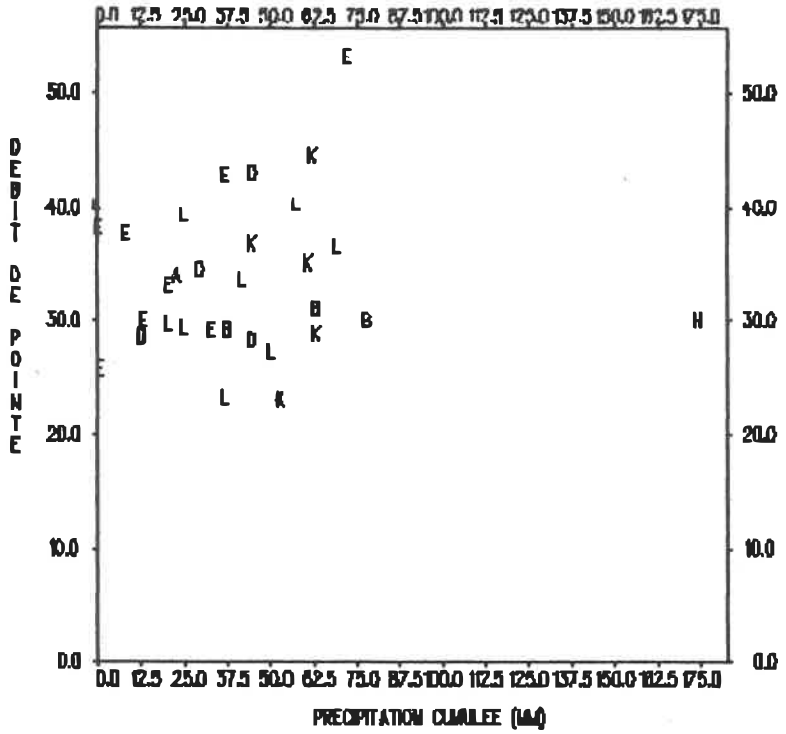
B19.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



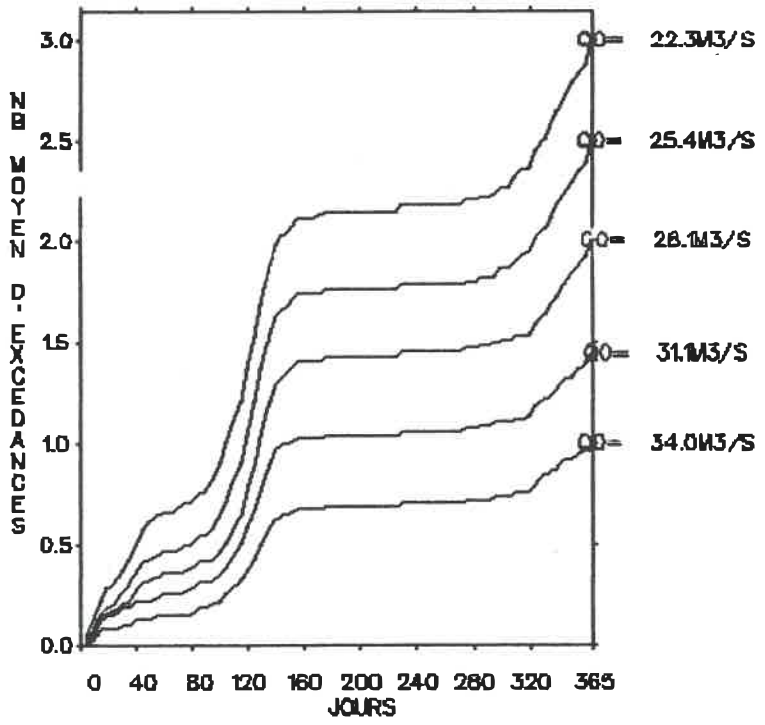
B19.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

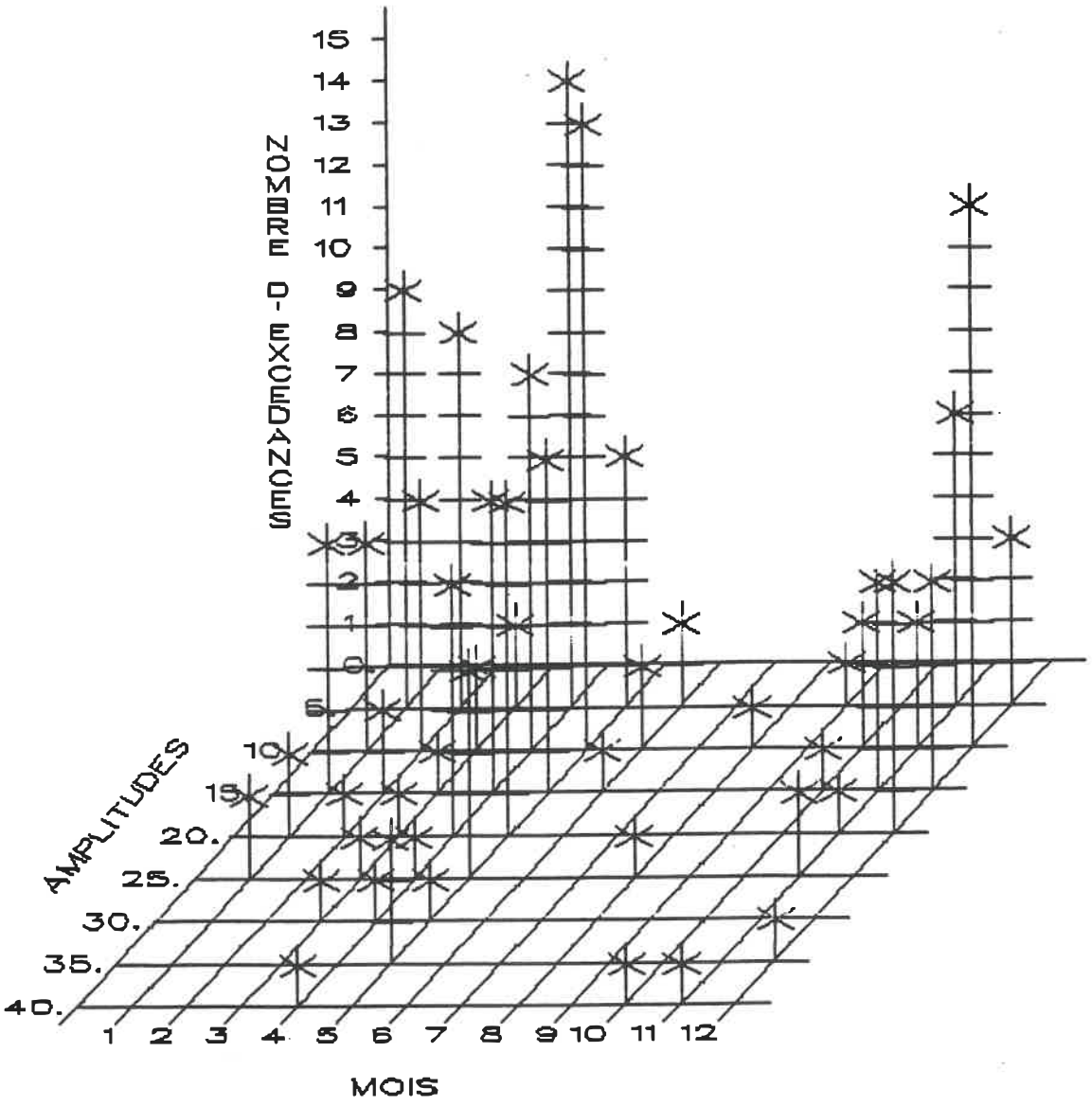


B20.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

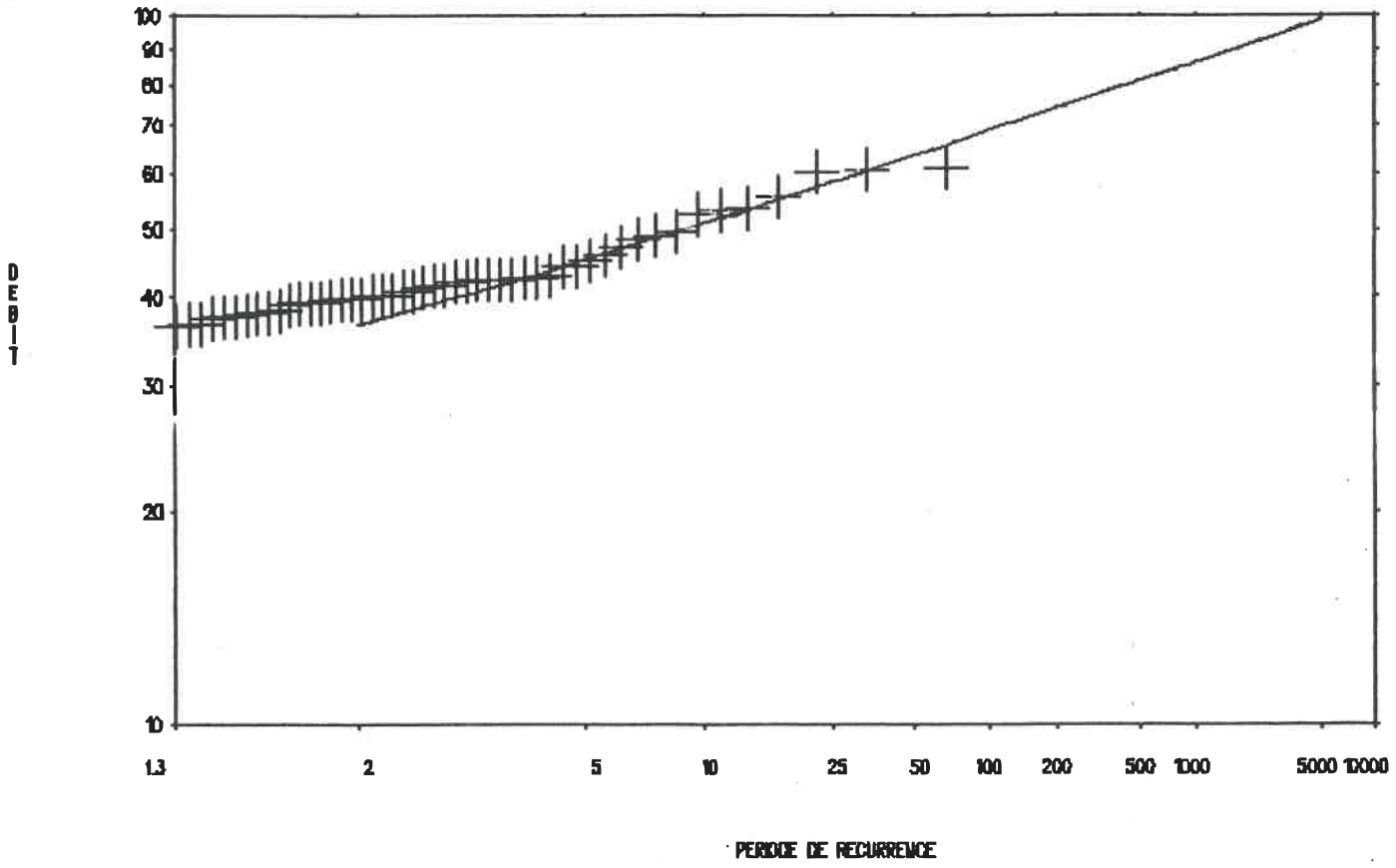


B20.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B20 - Station 01FB003



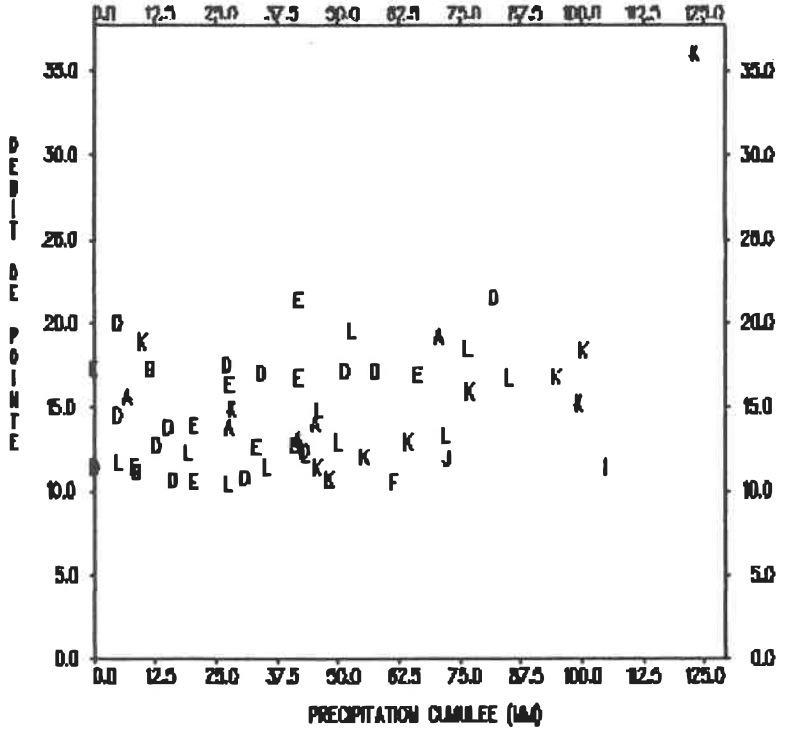
B20.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



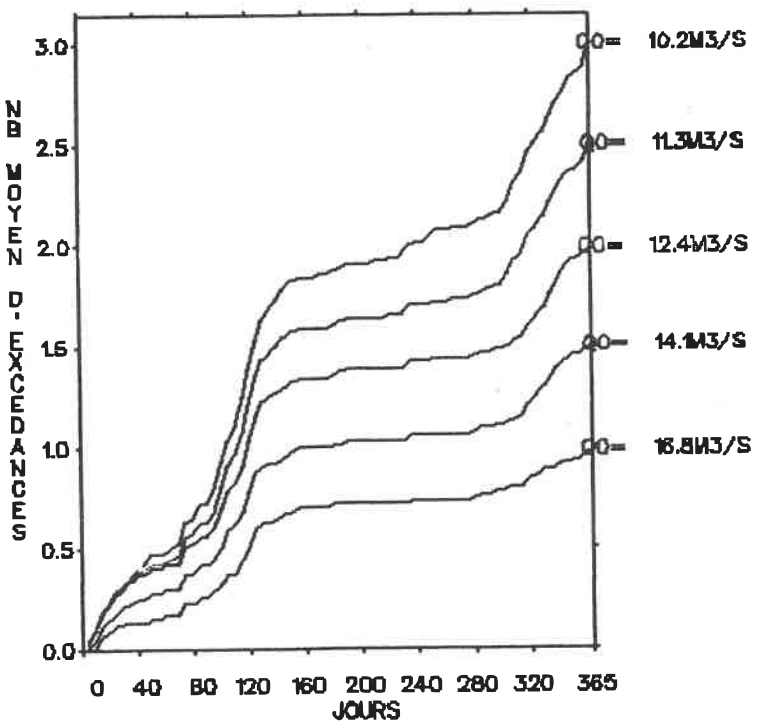
B20.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

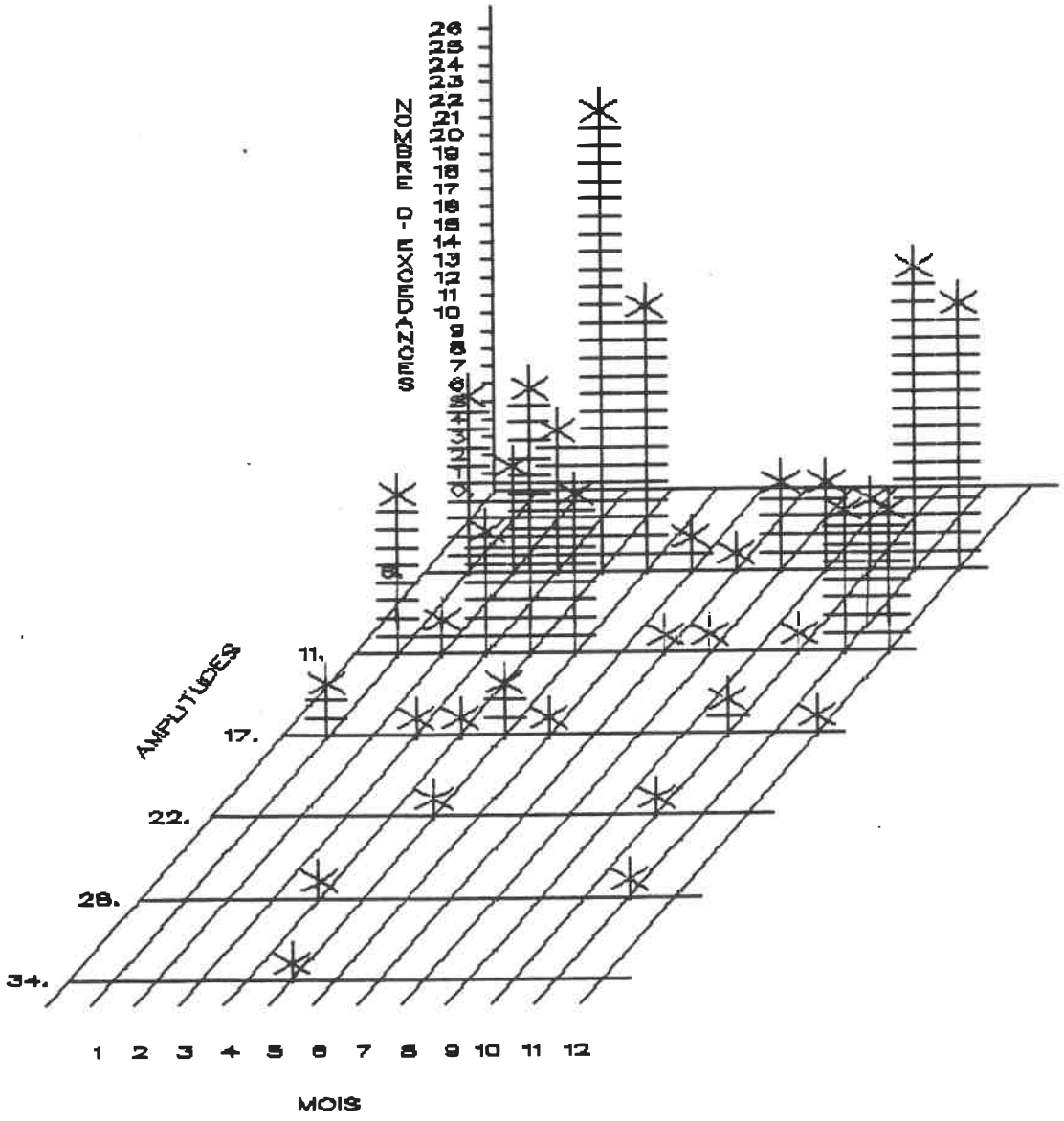


B21.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

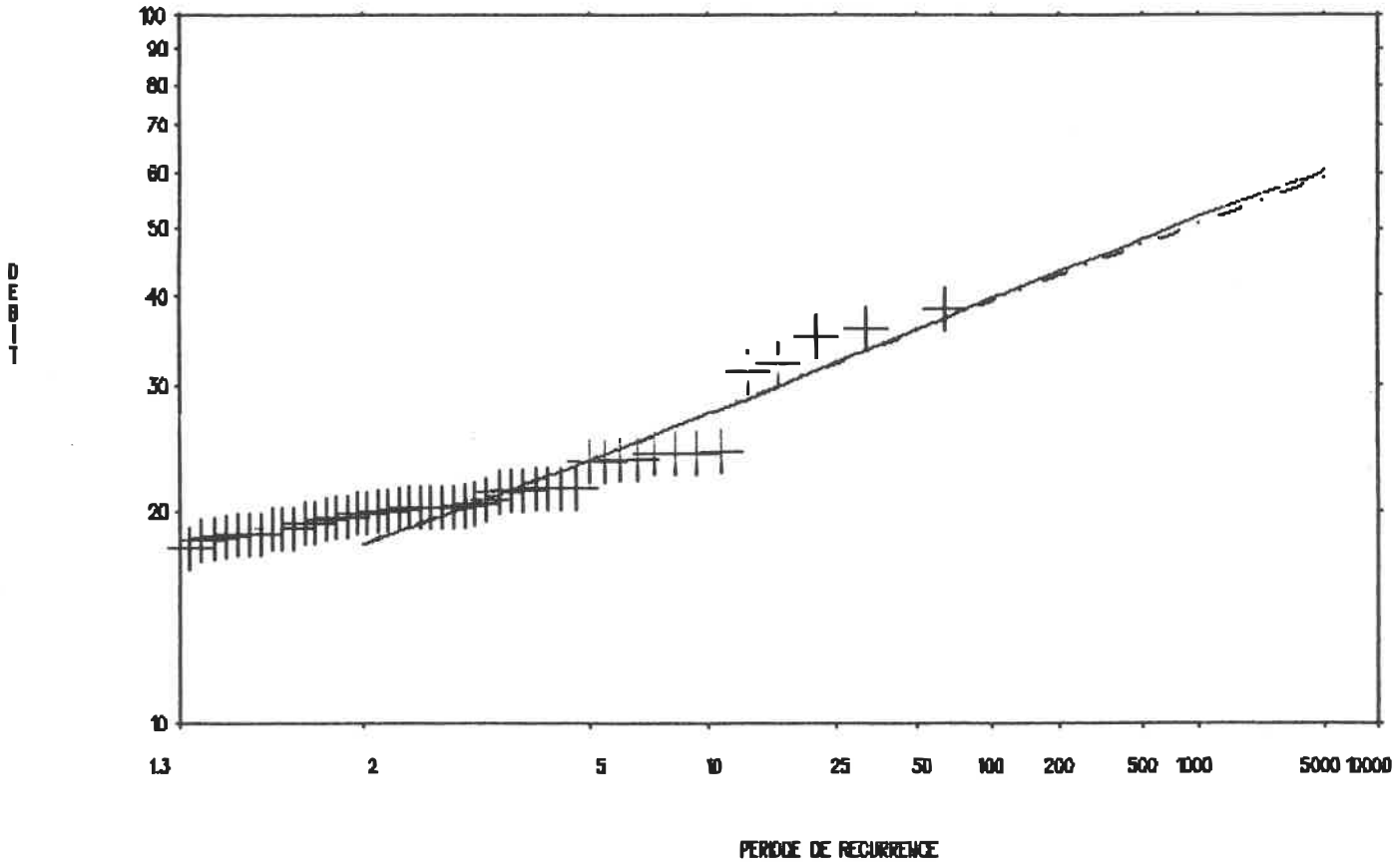


B21.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B21 - Station 01FH001



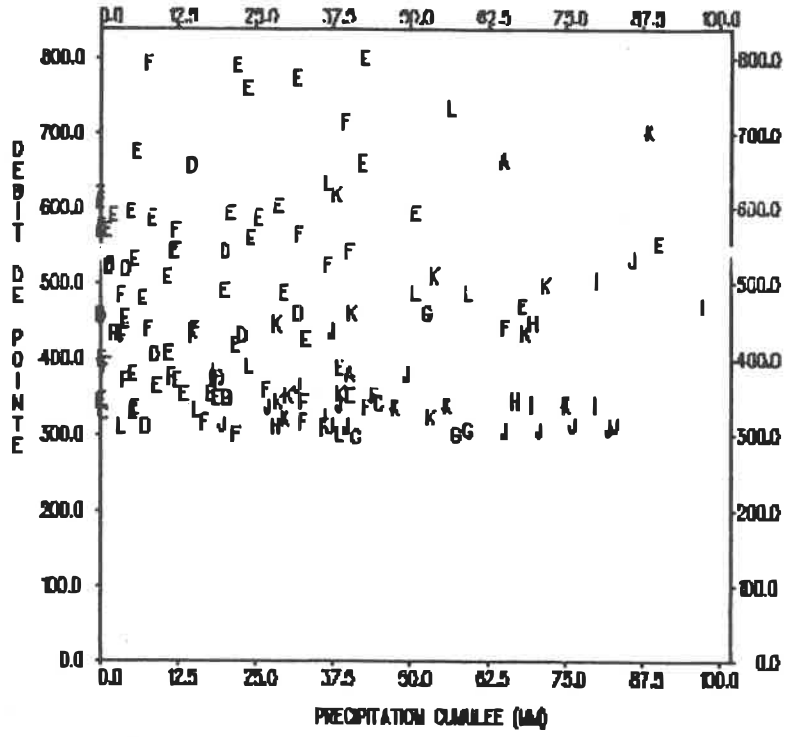
B21.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



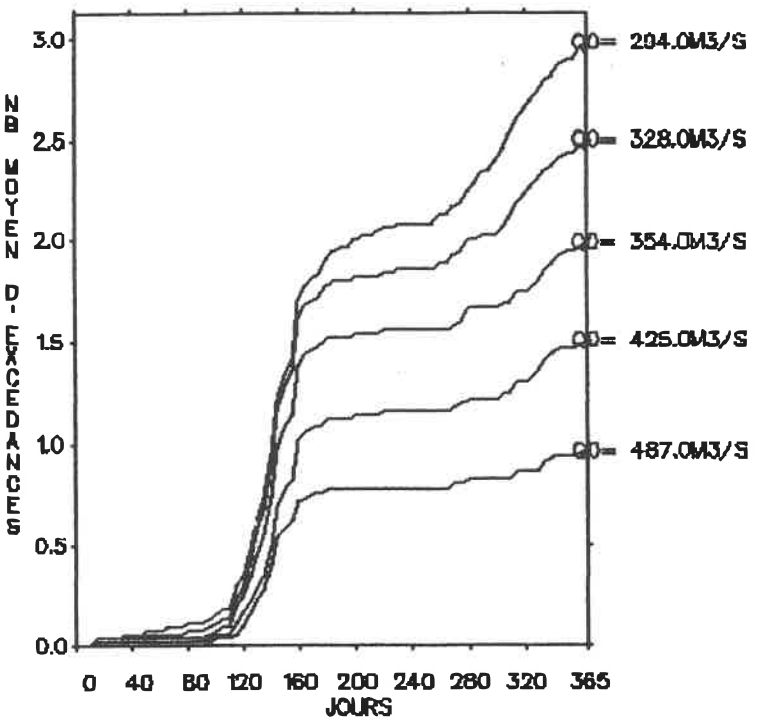
B21.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

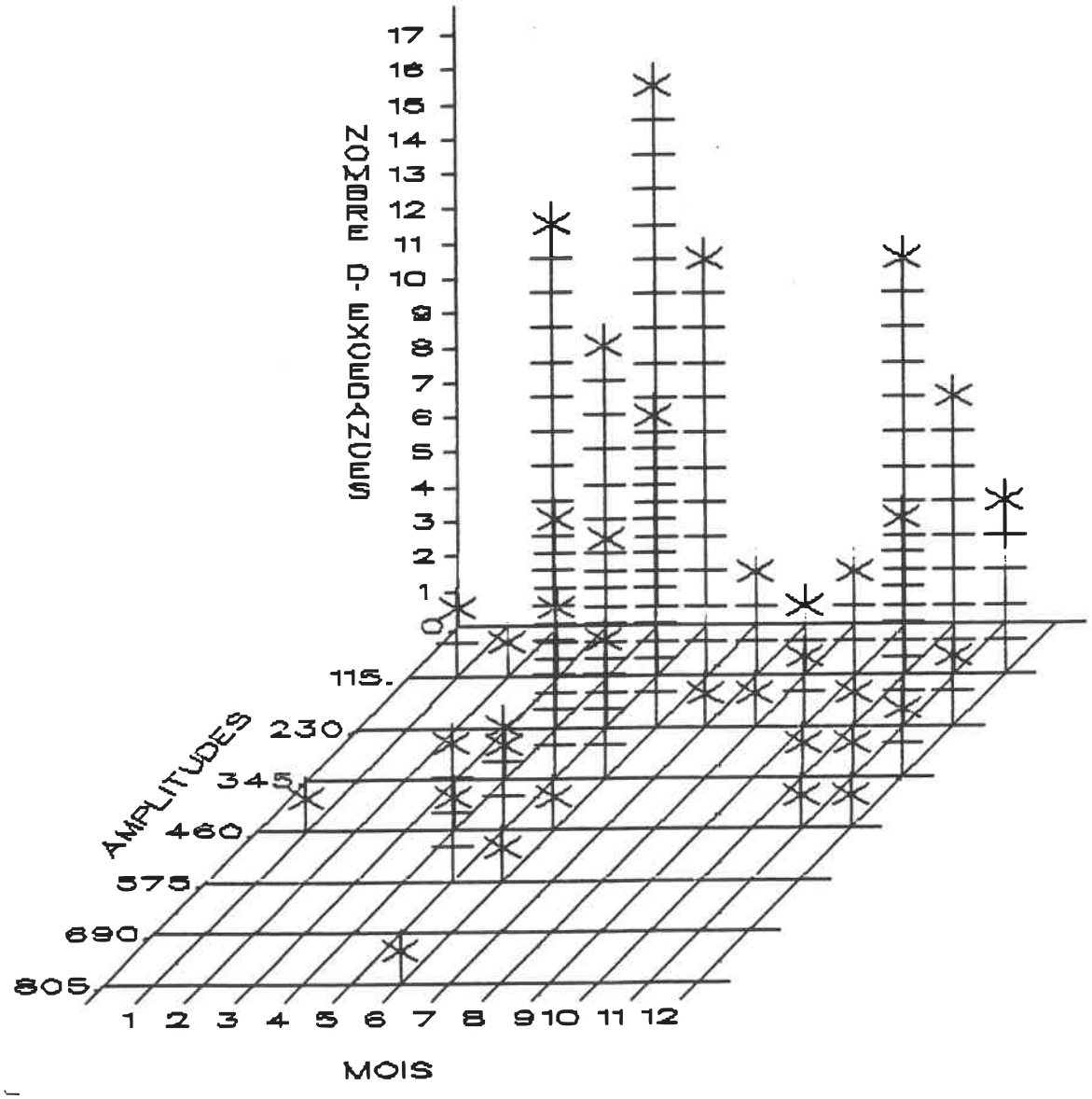


B22.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

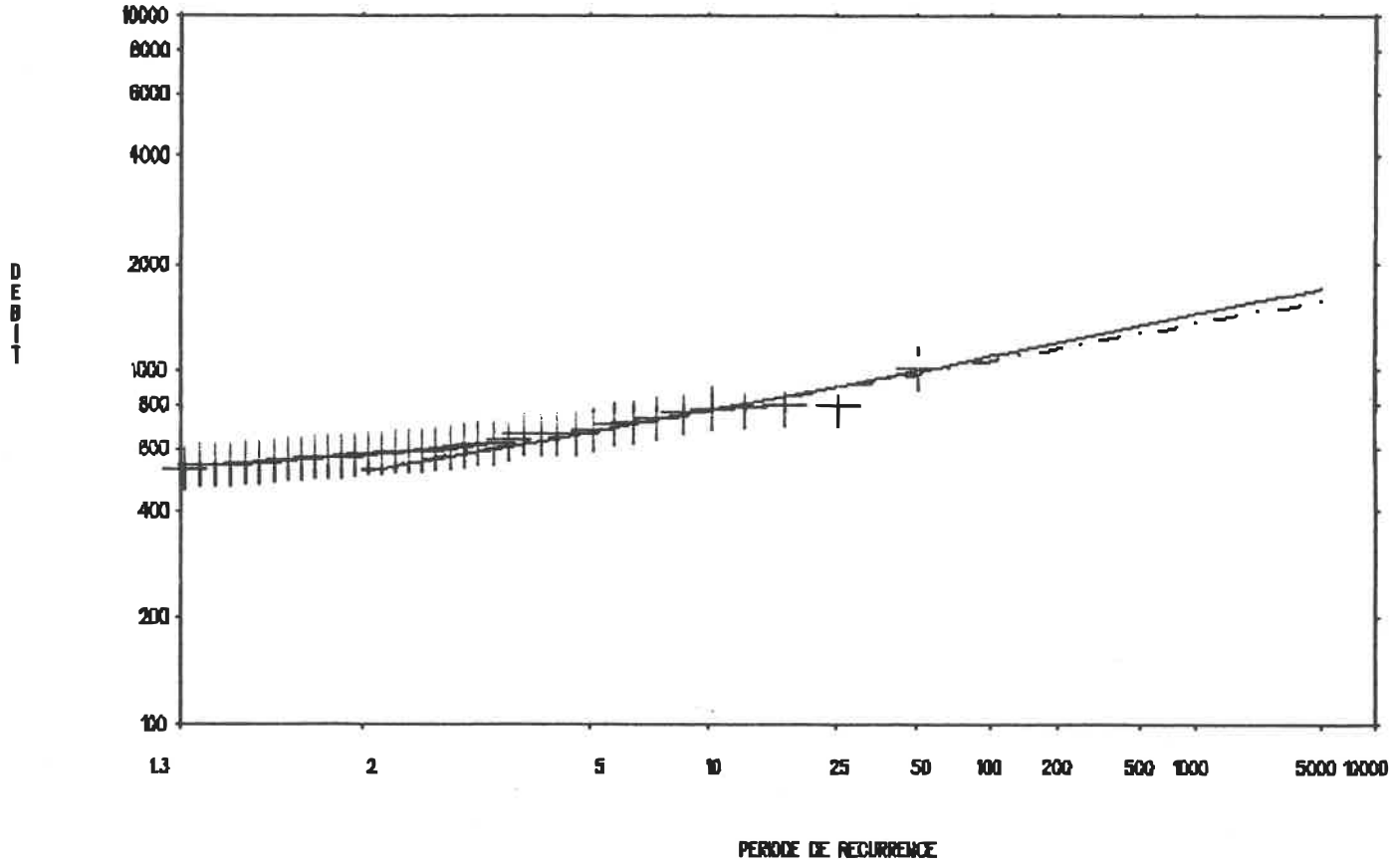


B22.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B22 - Station 02YL001



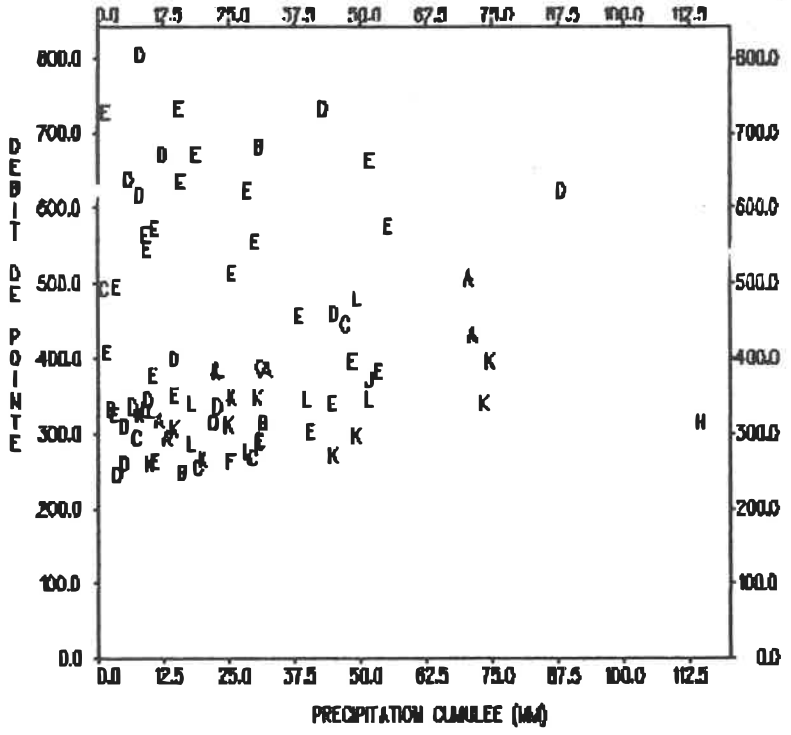
B22.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



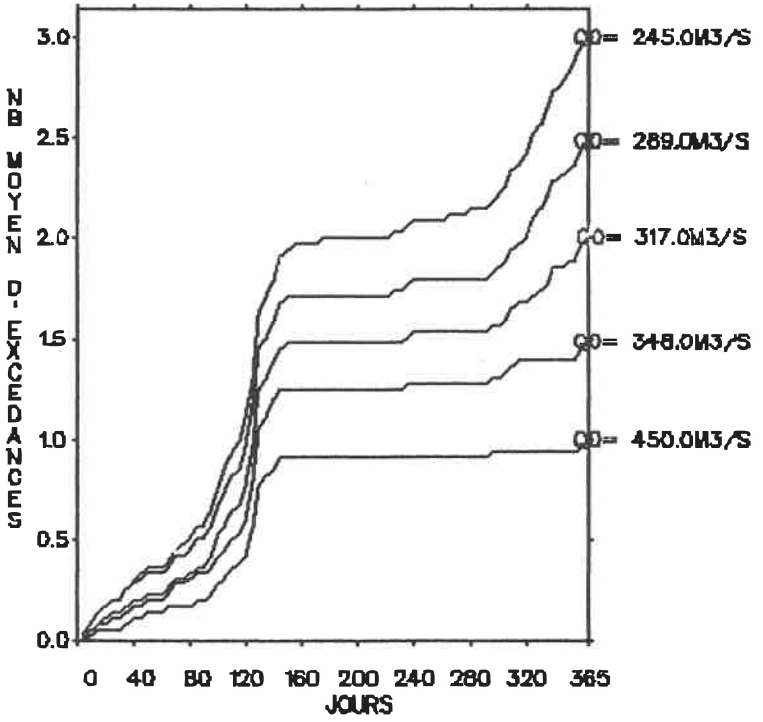
B22.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

—— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

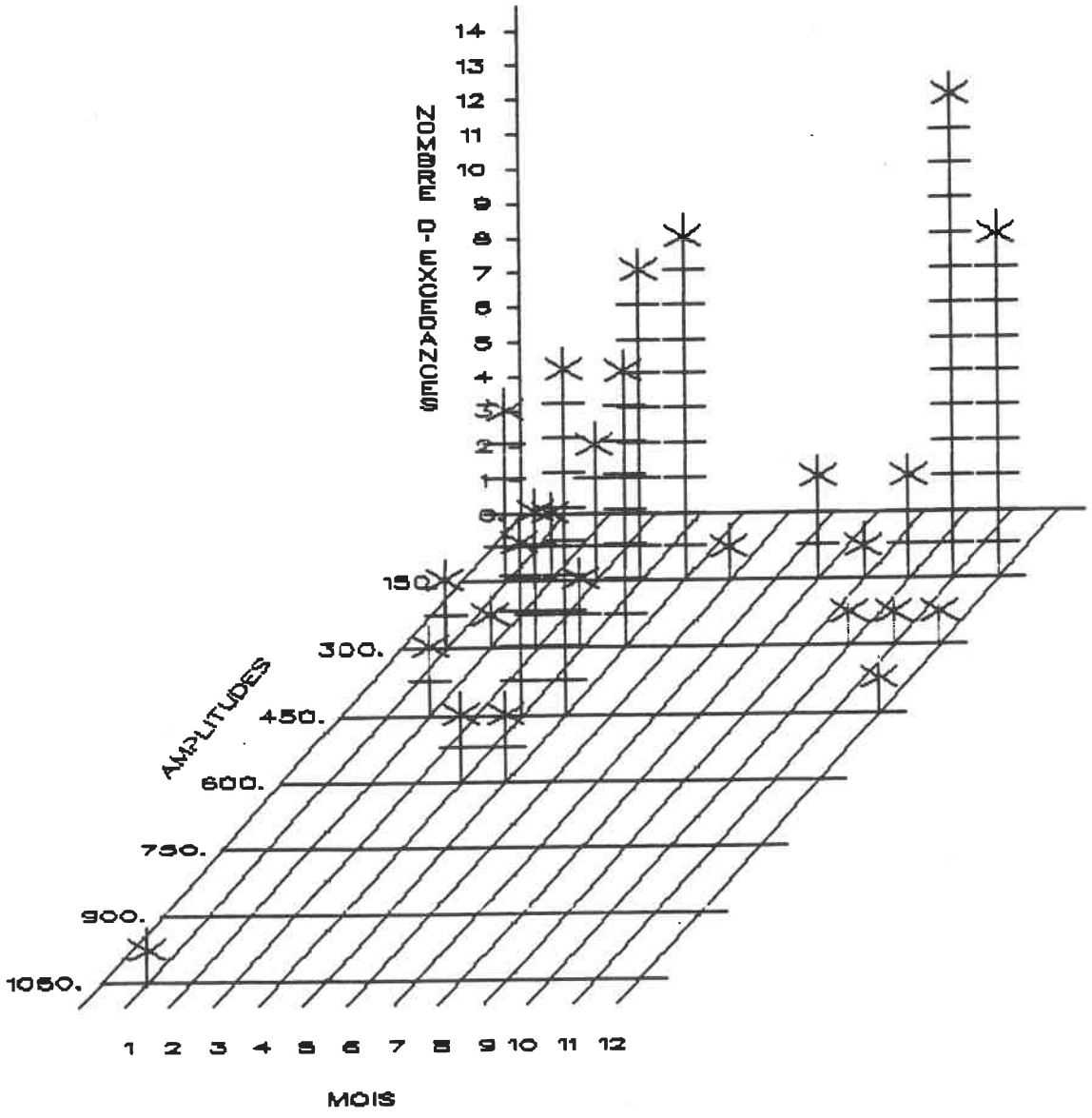


B23.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

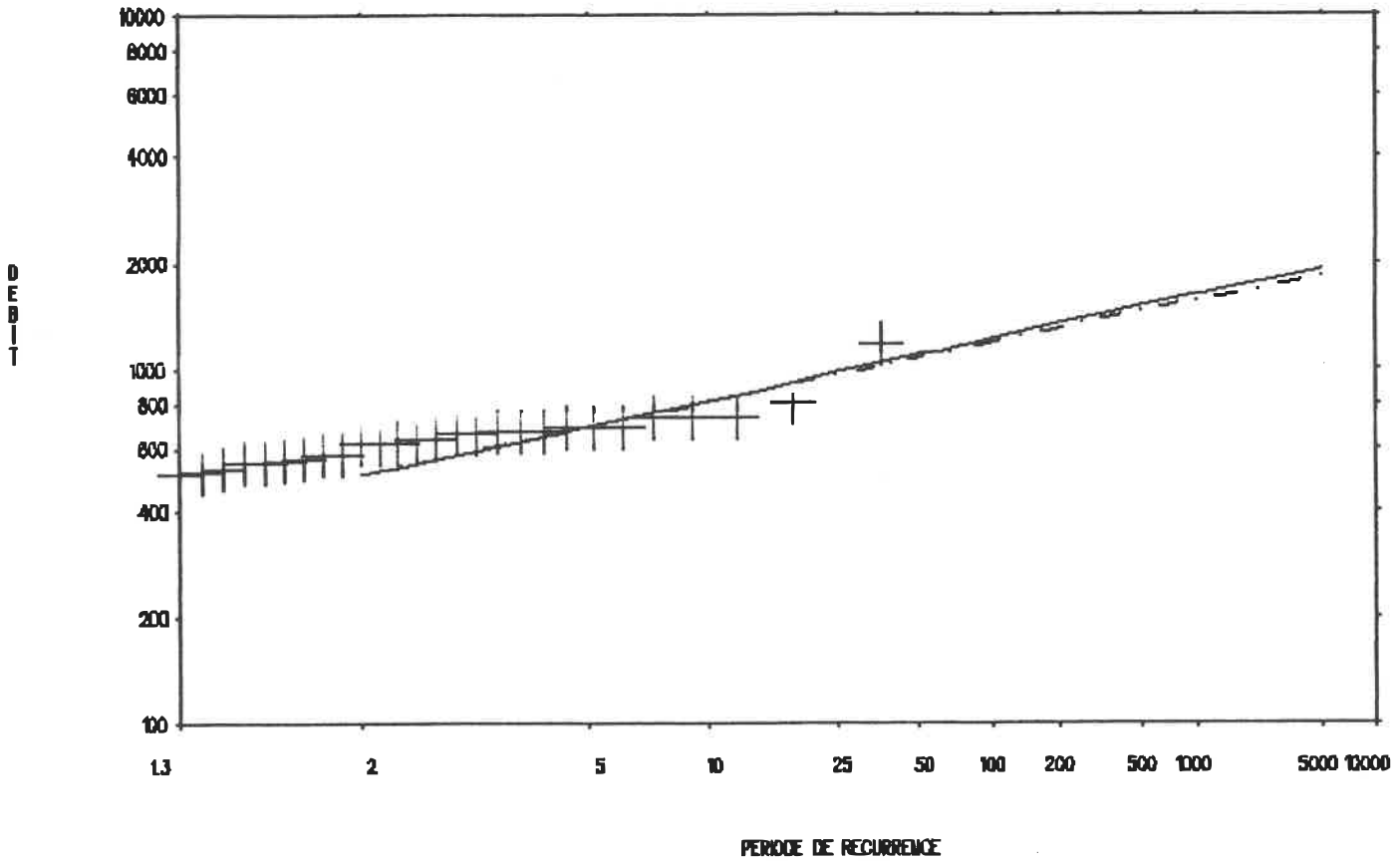


B23.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B23 - Station 02YQ001



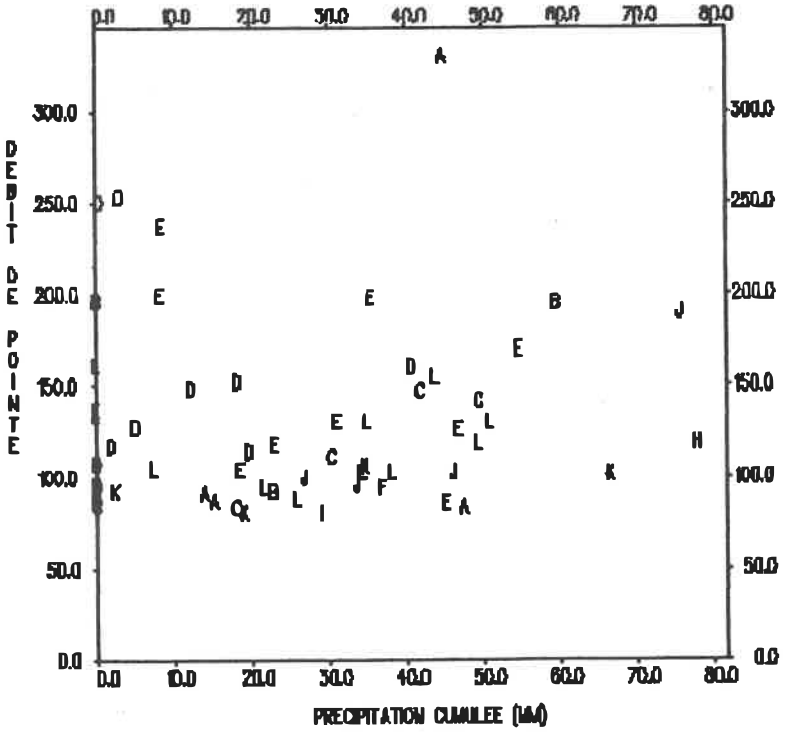
B23.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



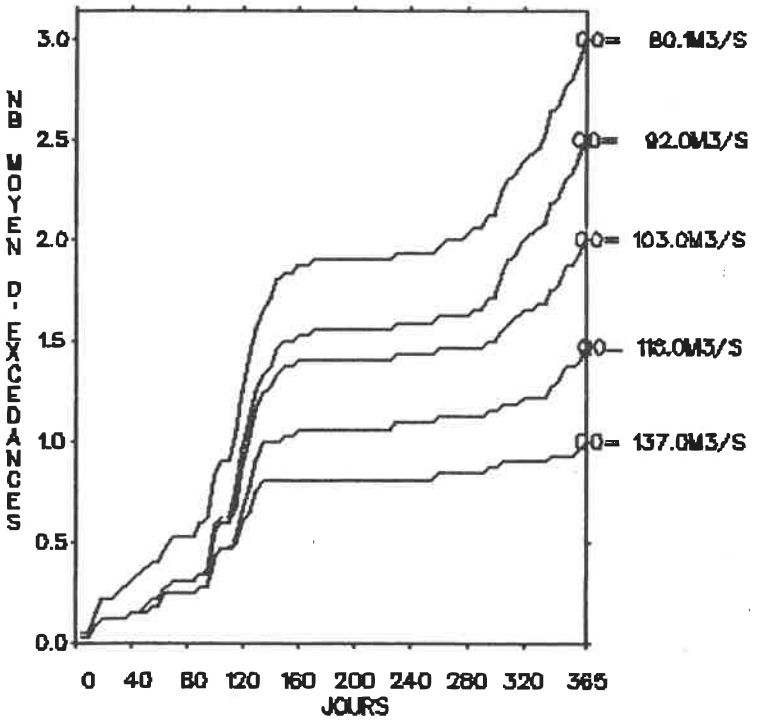
B23.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

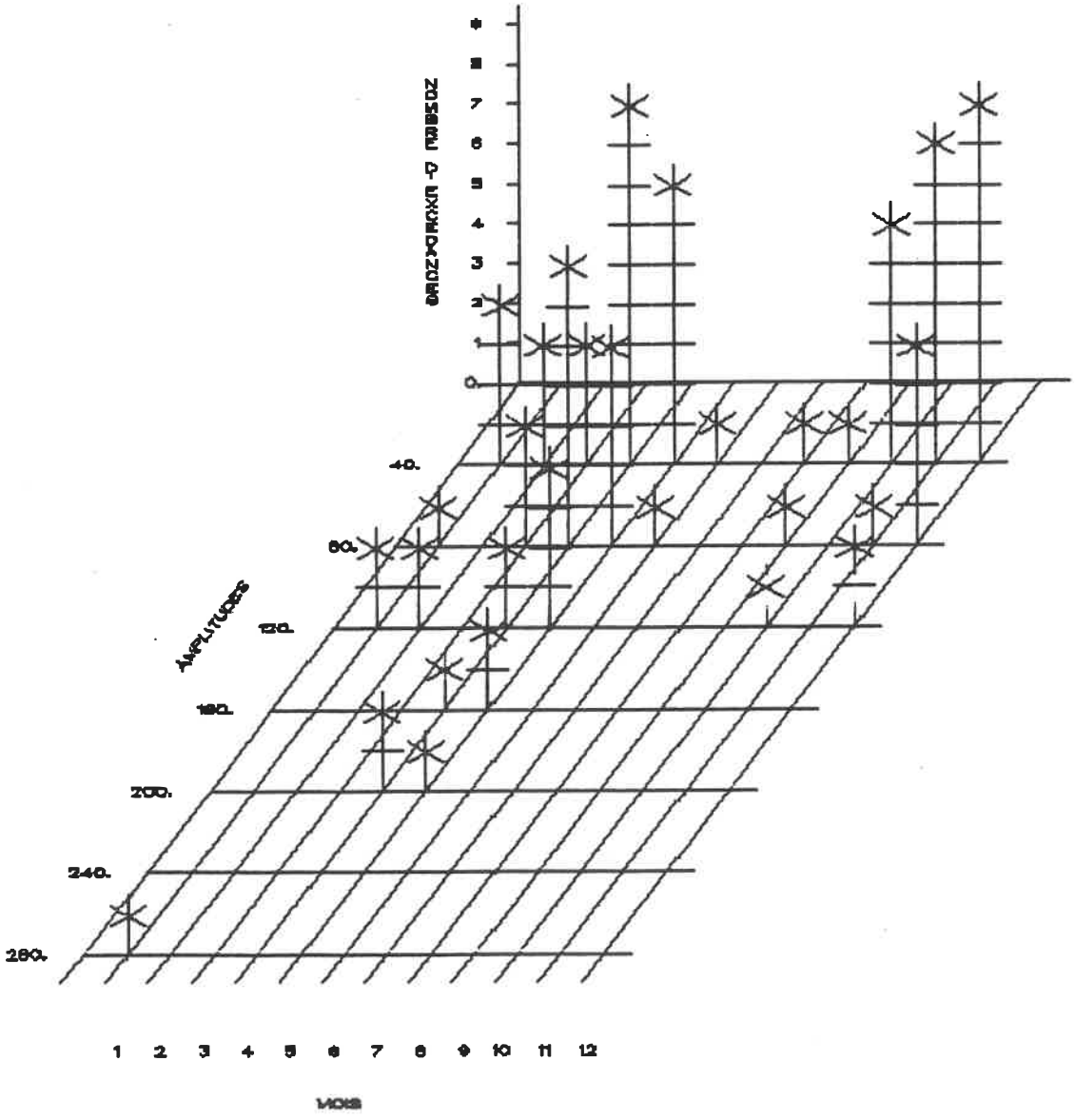


B24.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

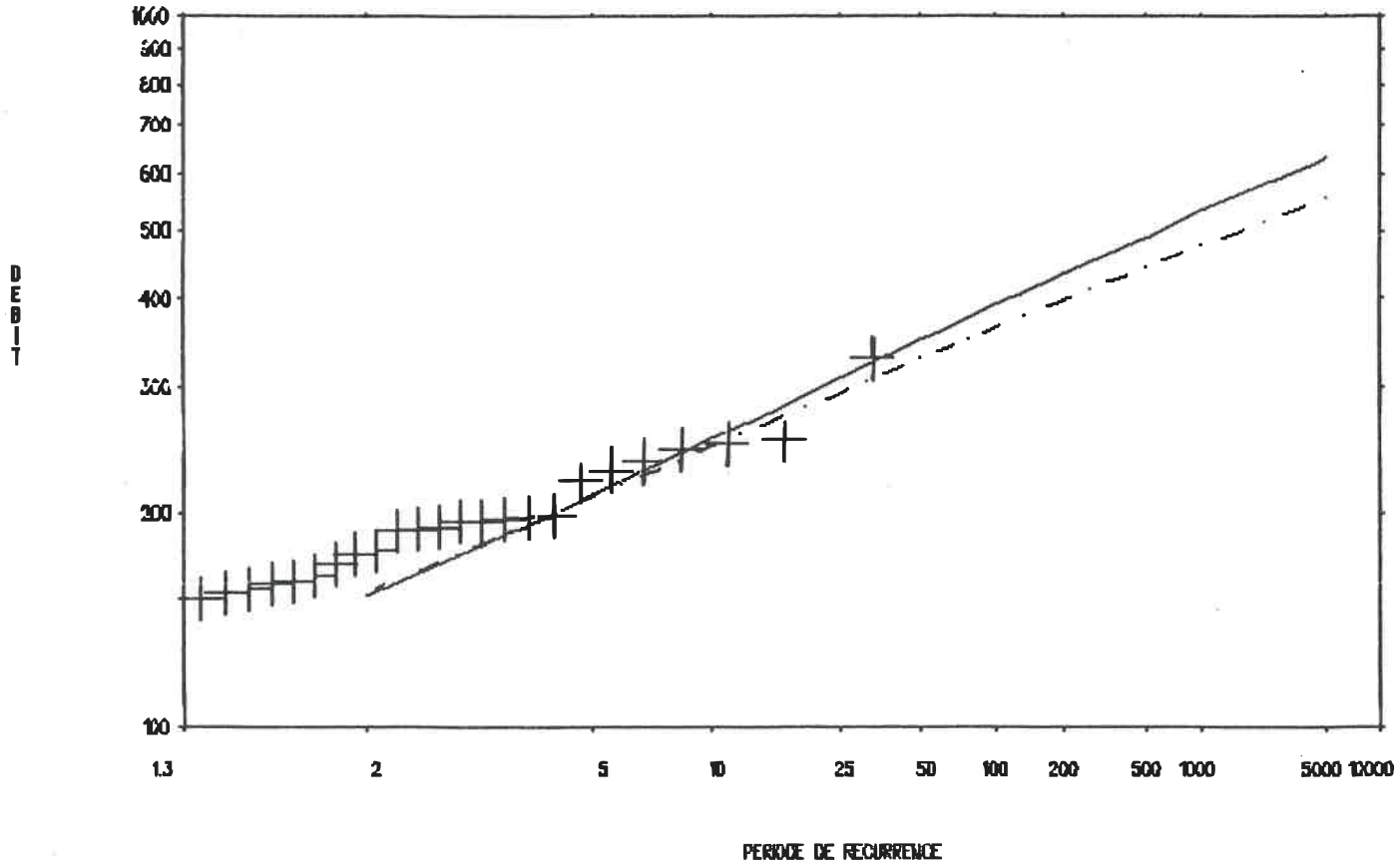


B24.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B24 - Station 02YS001



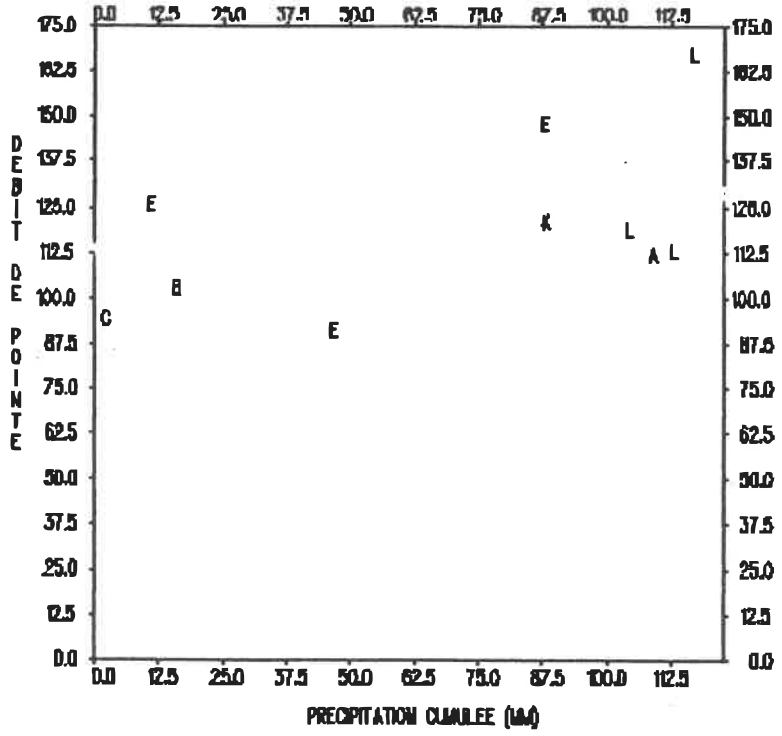
B24.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



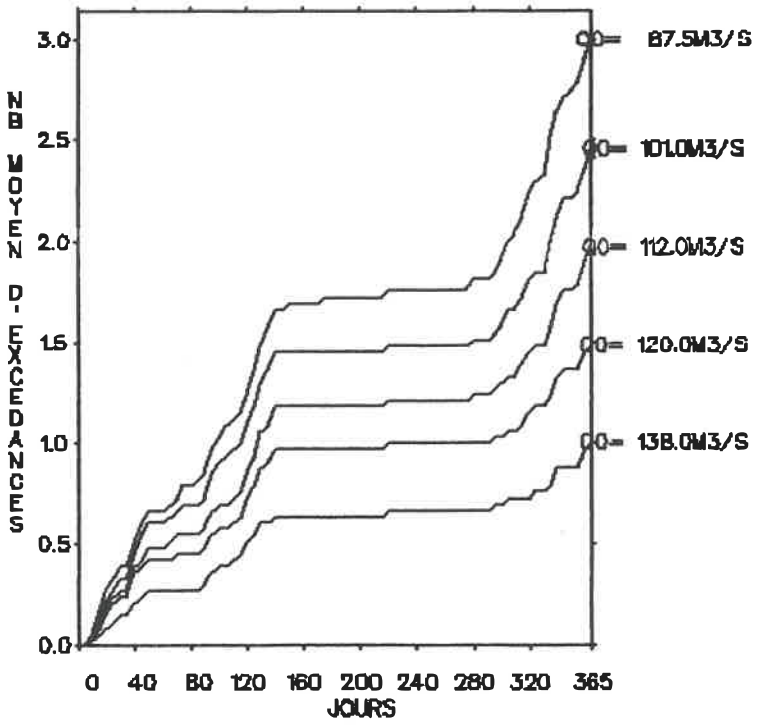
B24.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

– – analyse annuelle

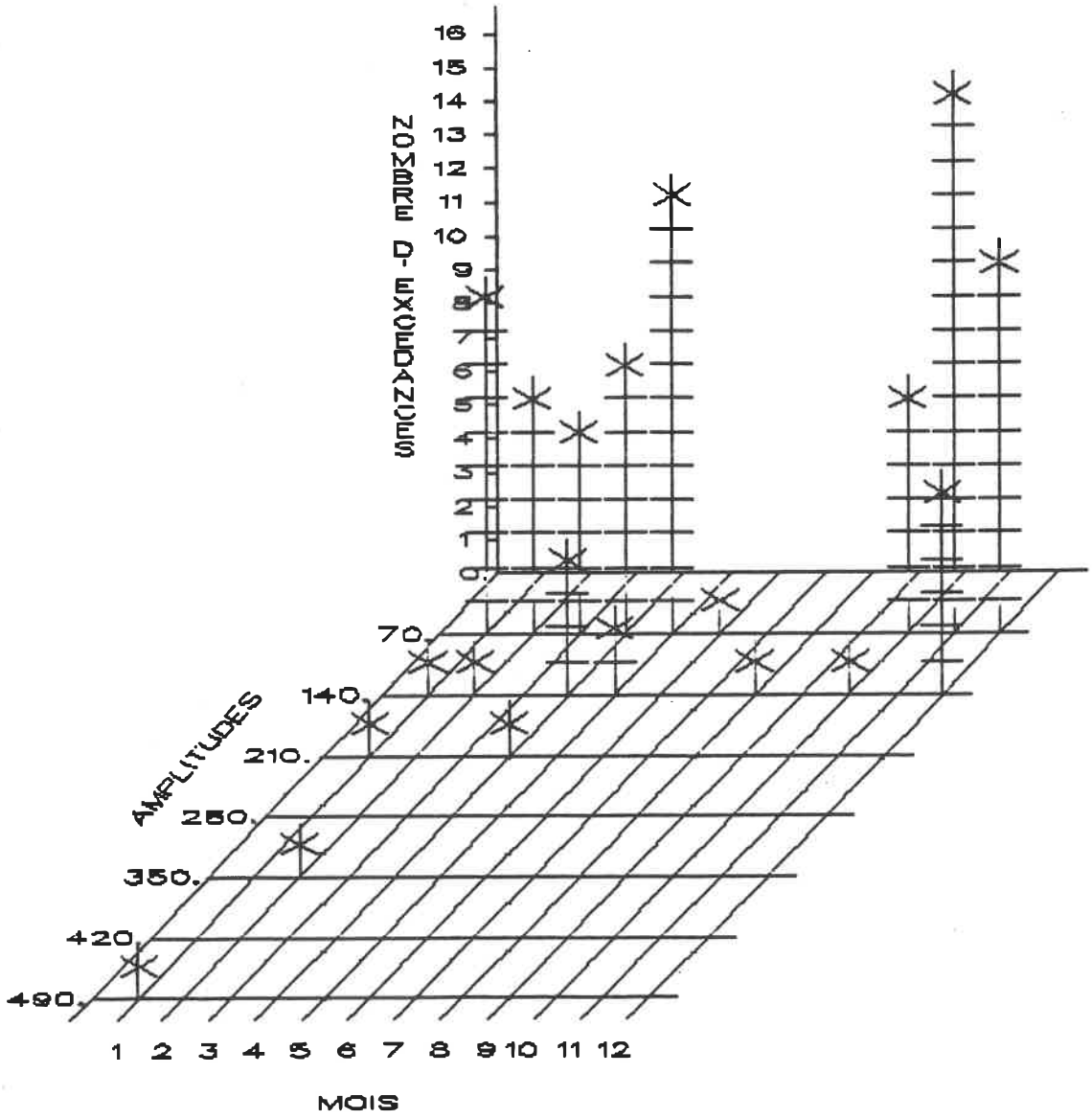


B25.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

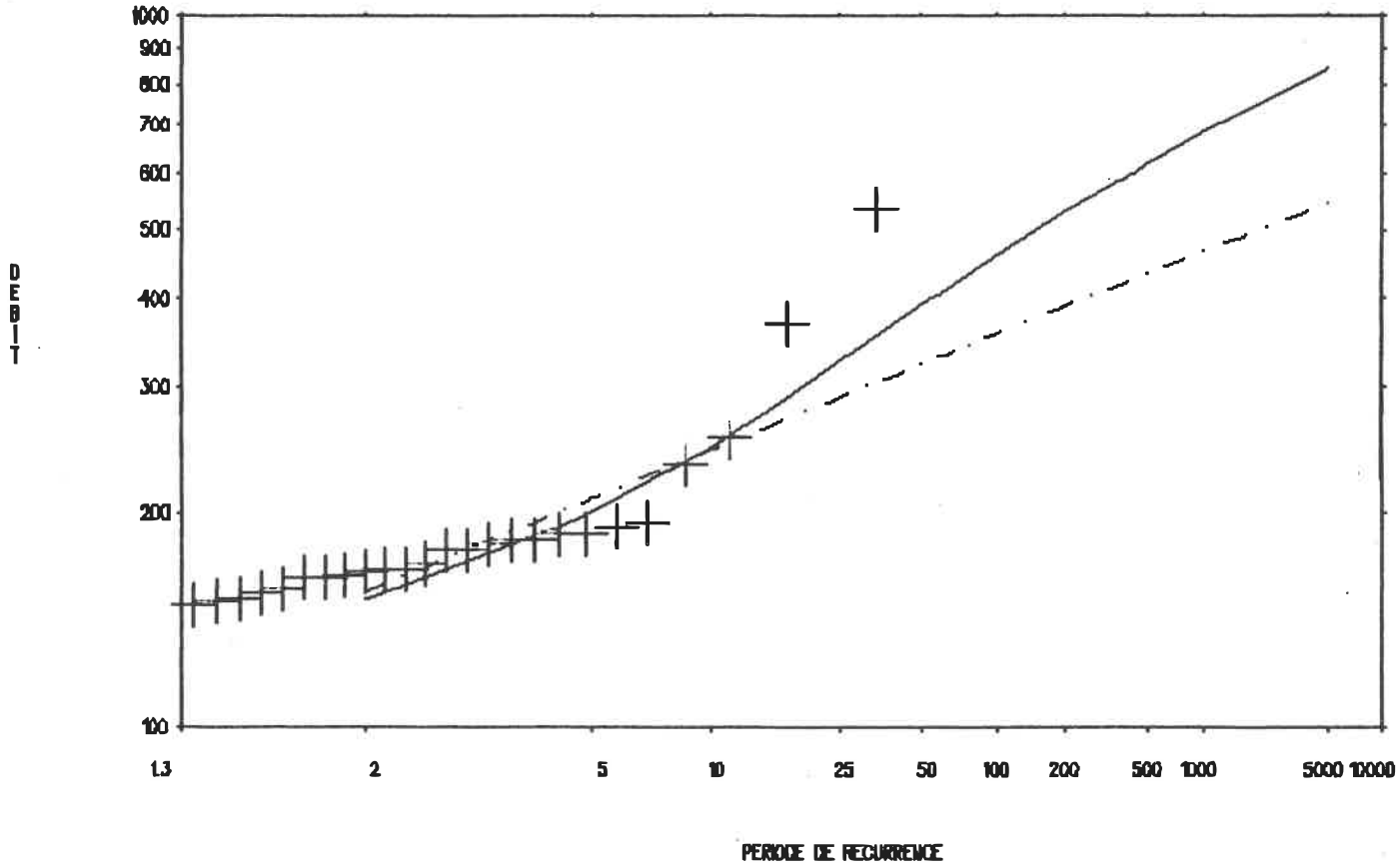


B25.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B25 - Station 02ZF001



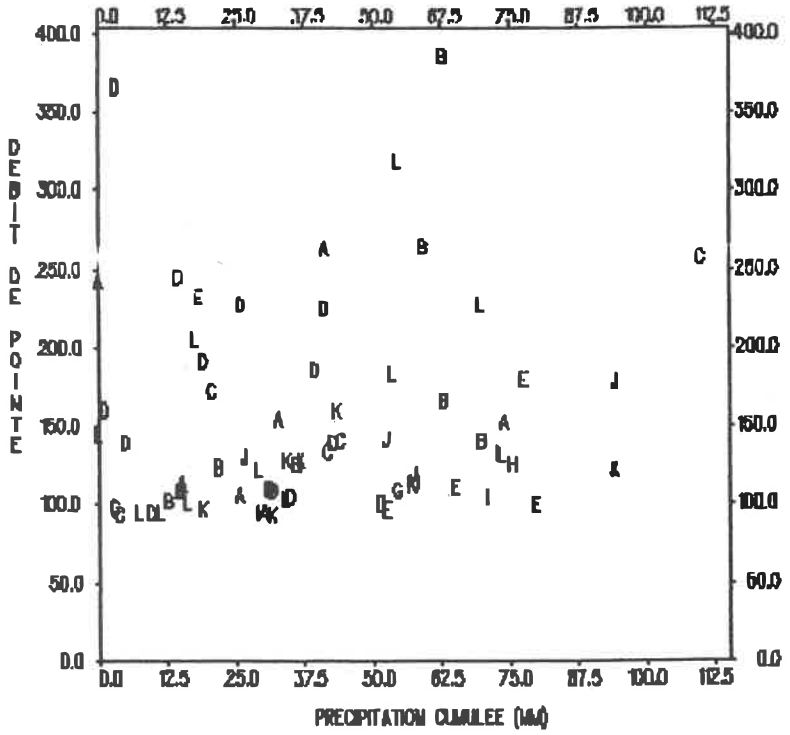
B25.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



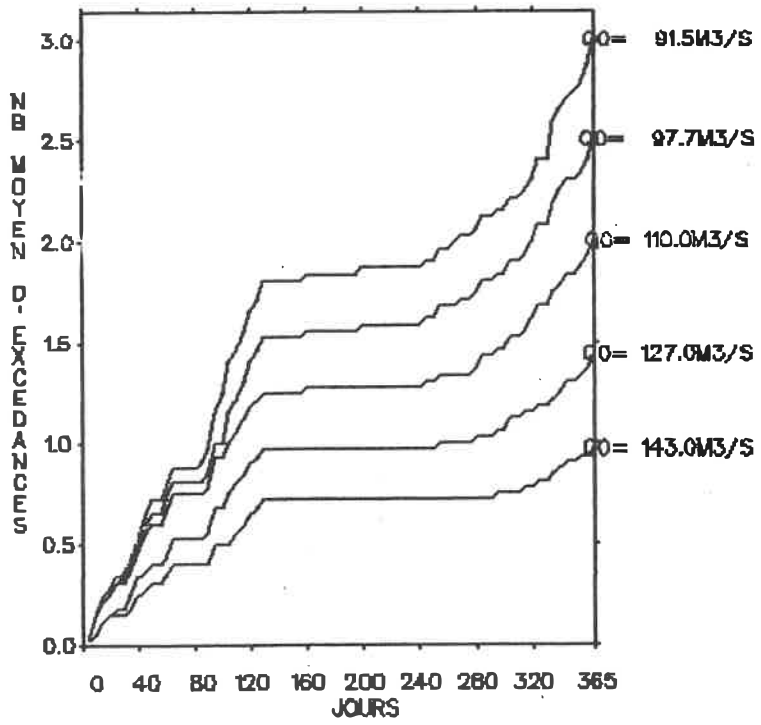
B25.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

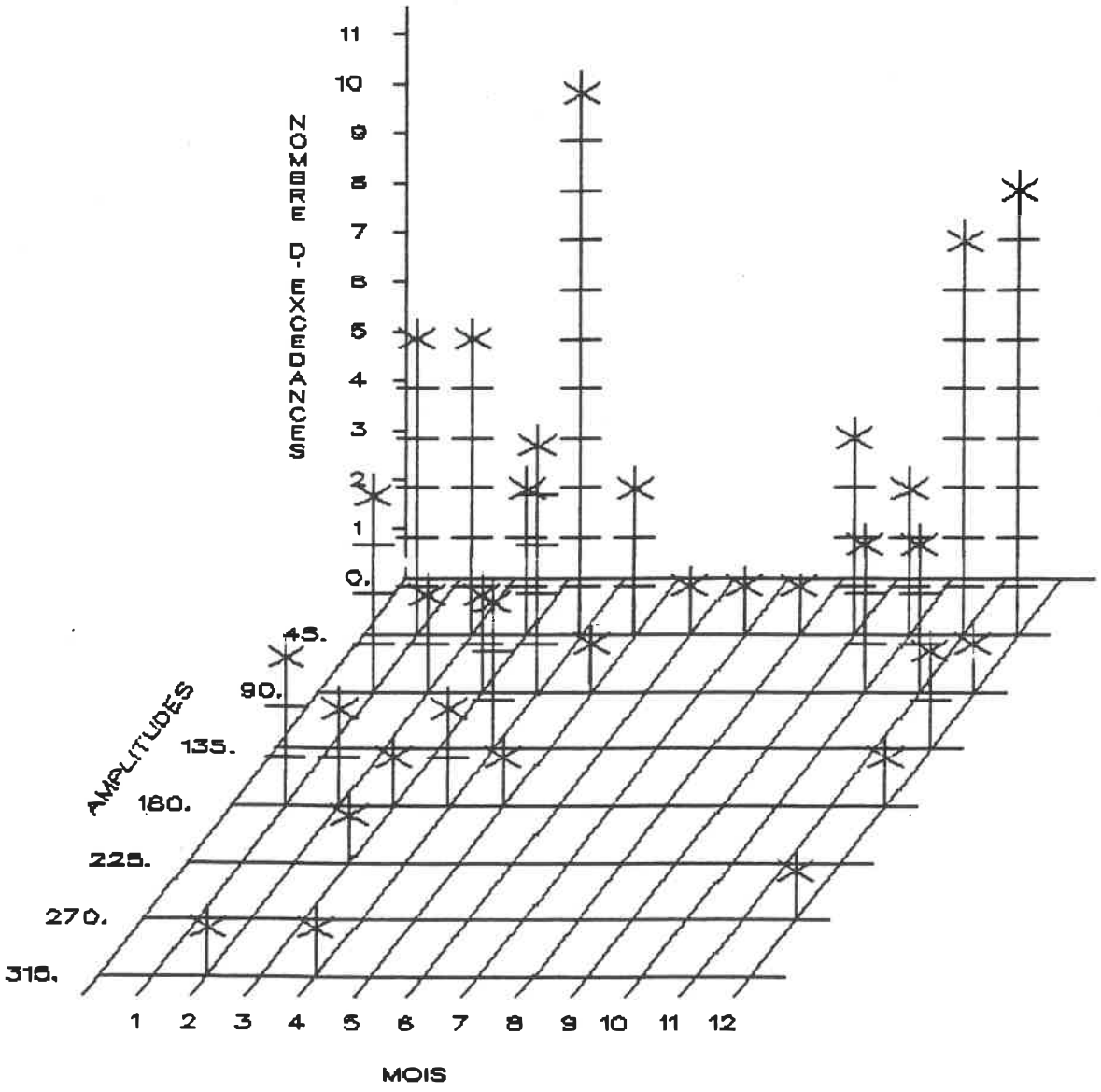


B26.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

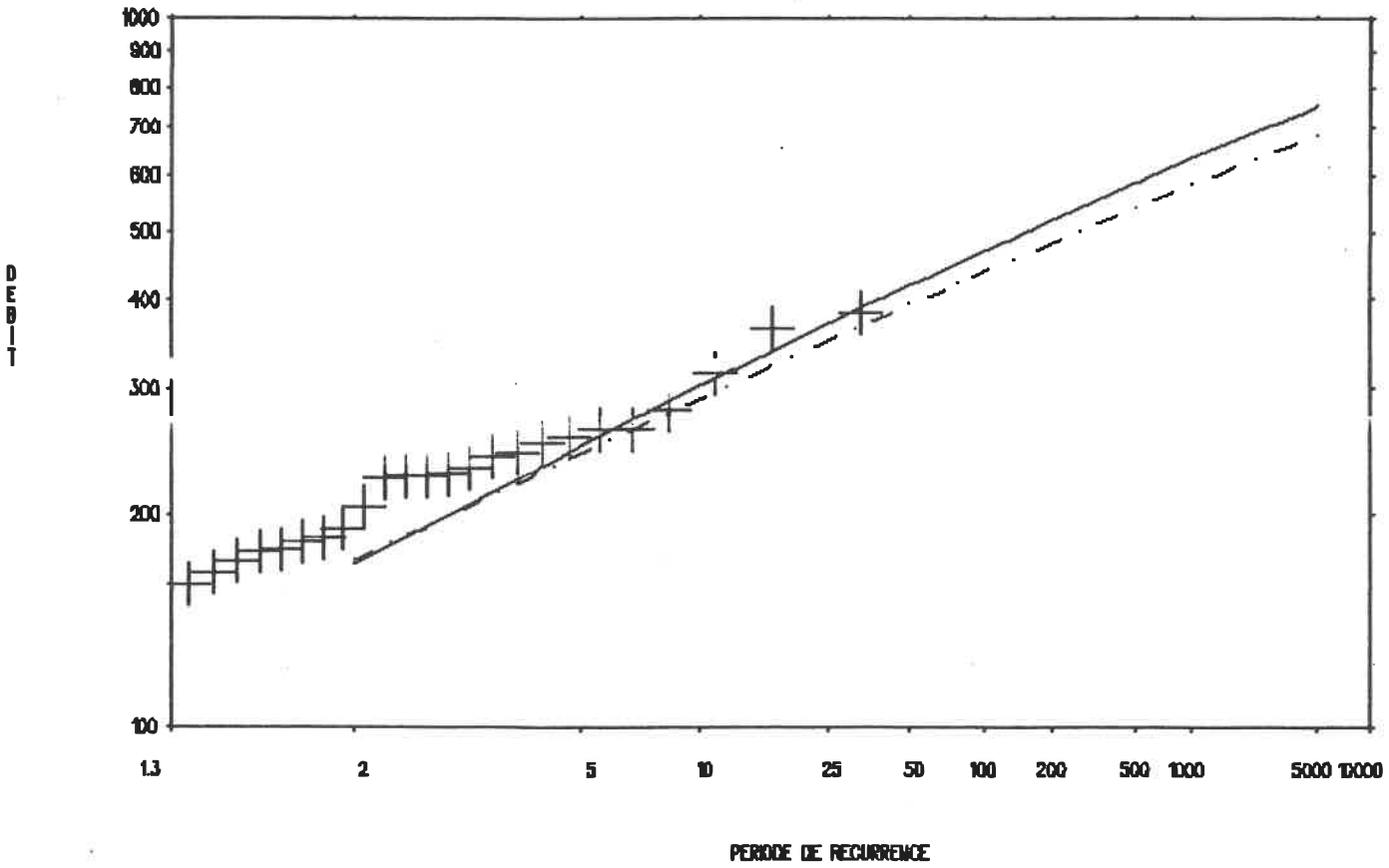


B26.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B26 - Station 02ZH001



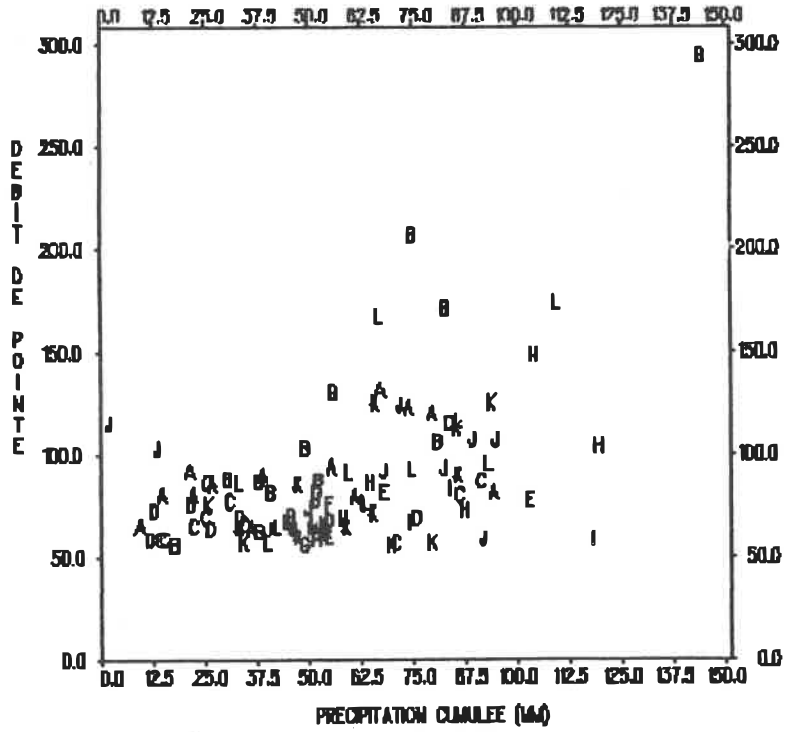
B26.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois

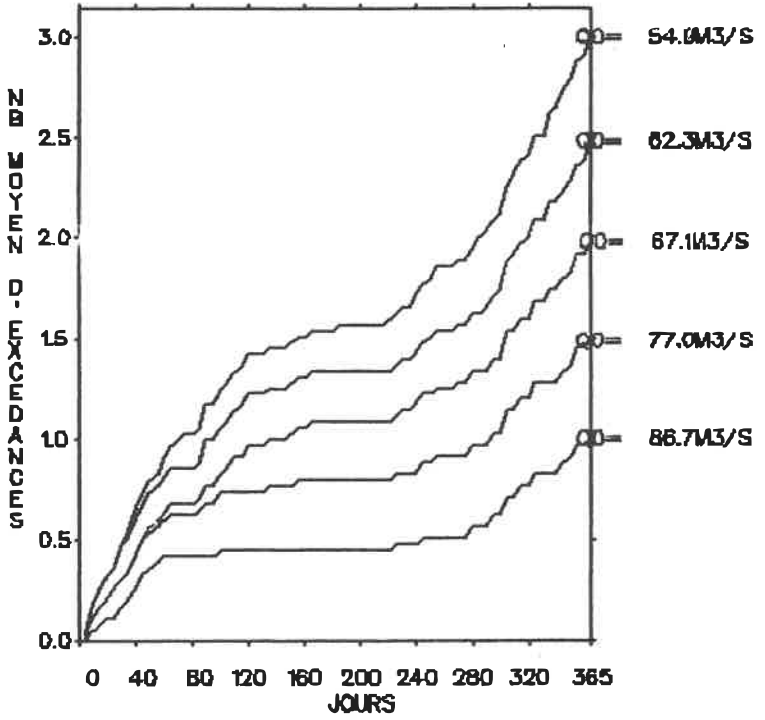


B26.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

—— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

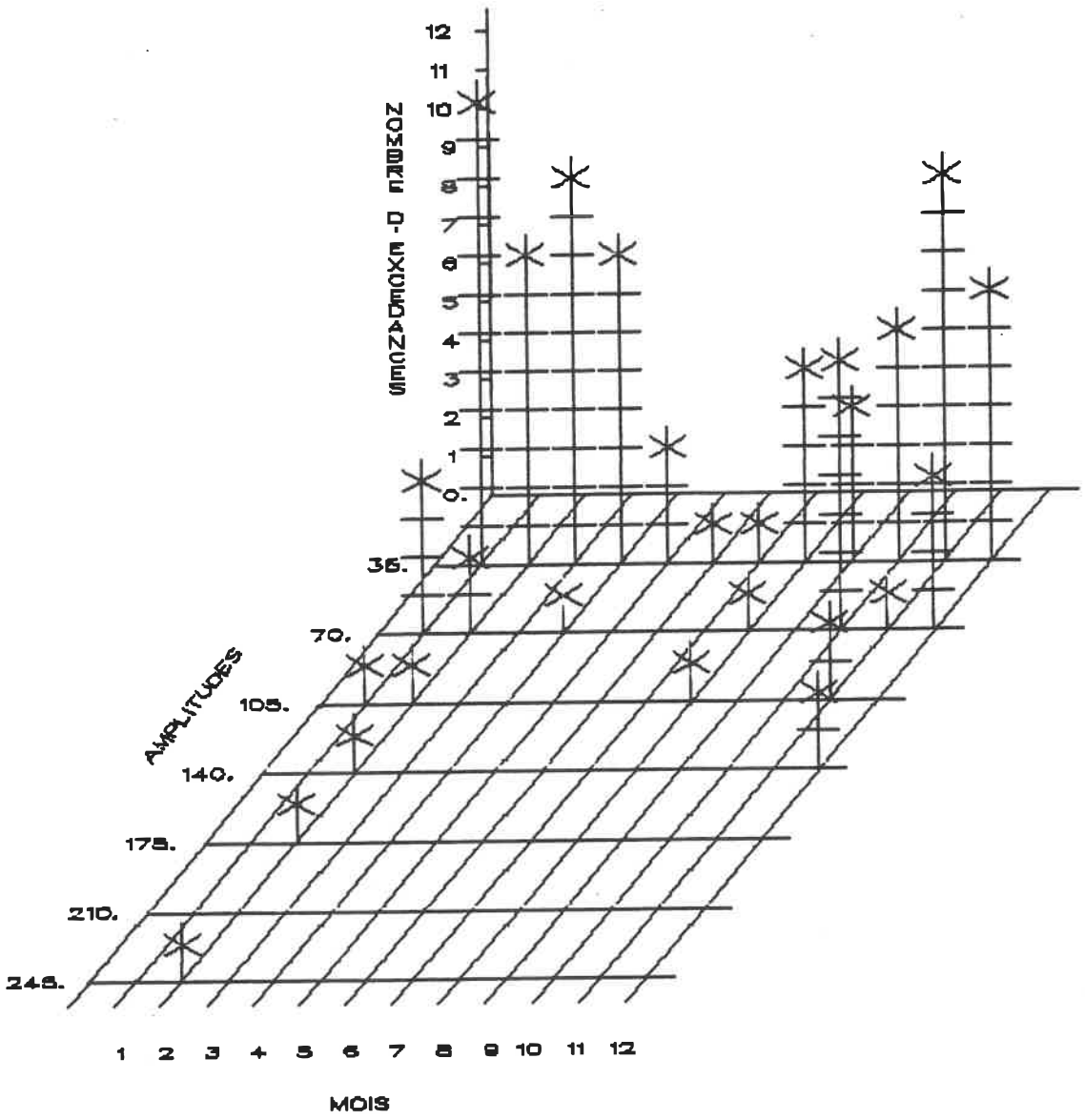




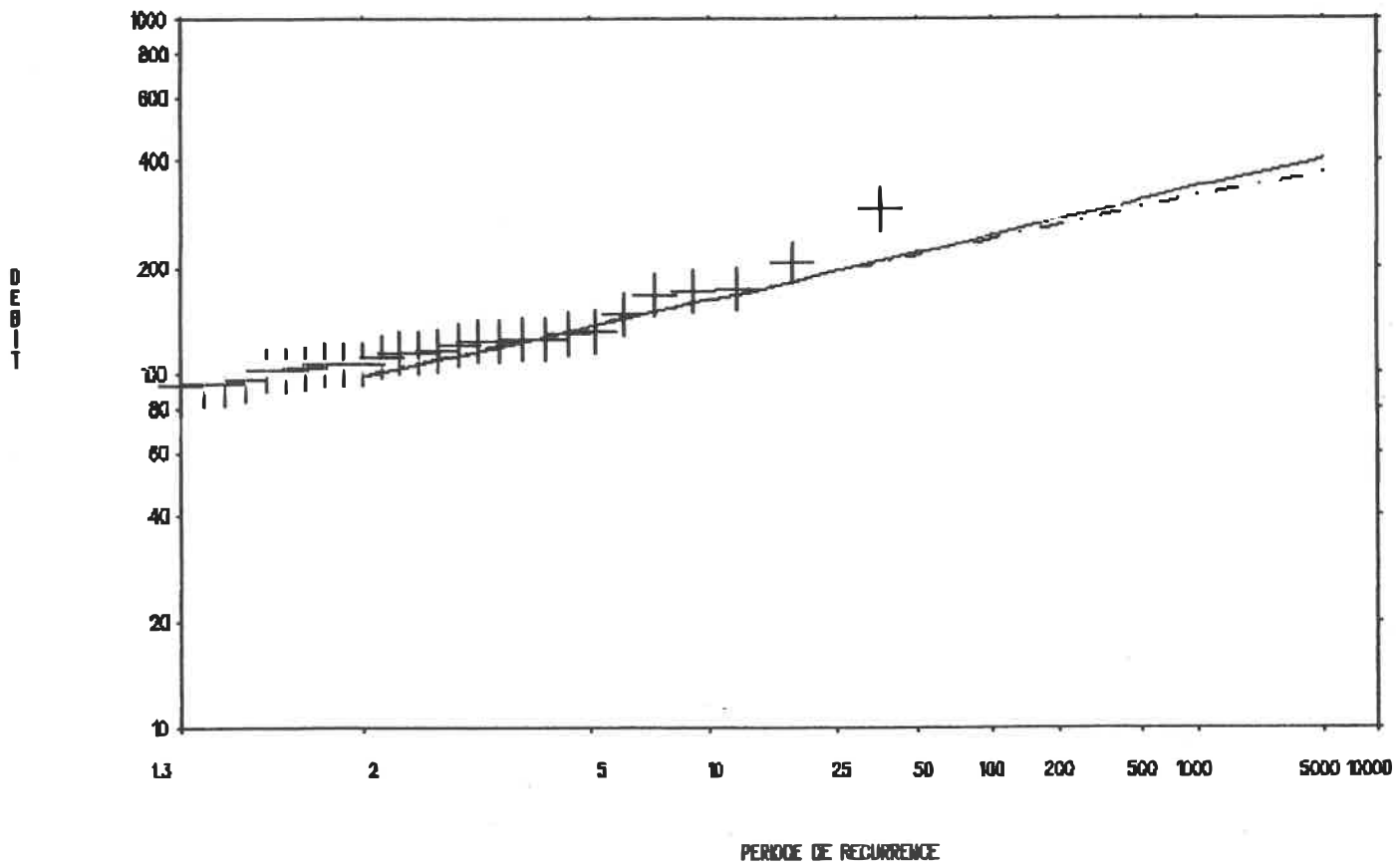
B27.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

B27.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B27 - Station 02ZK001



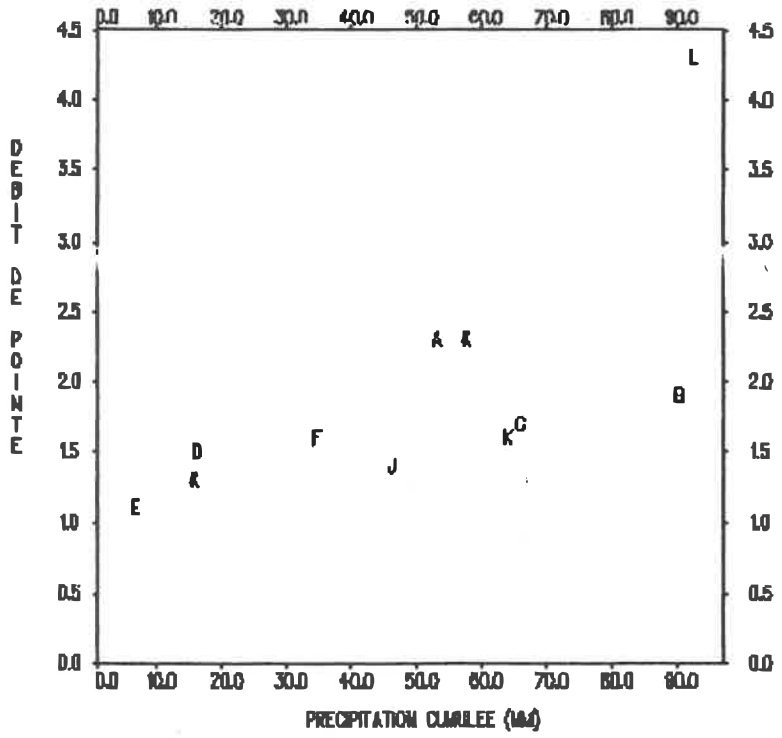
B27.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



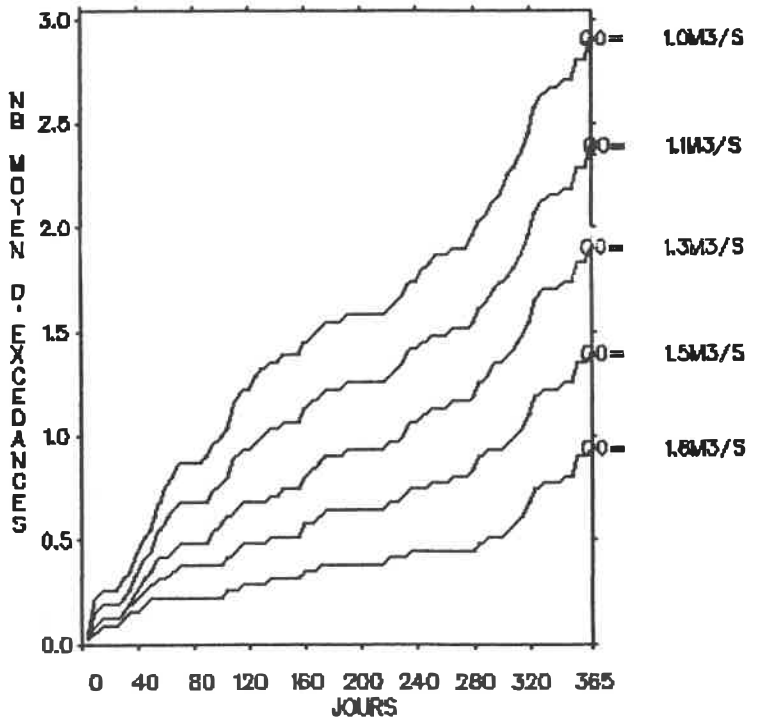
B27.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

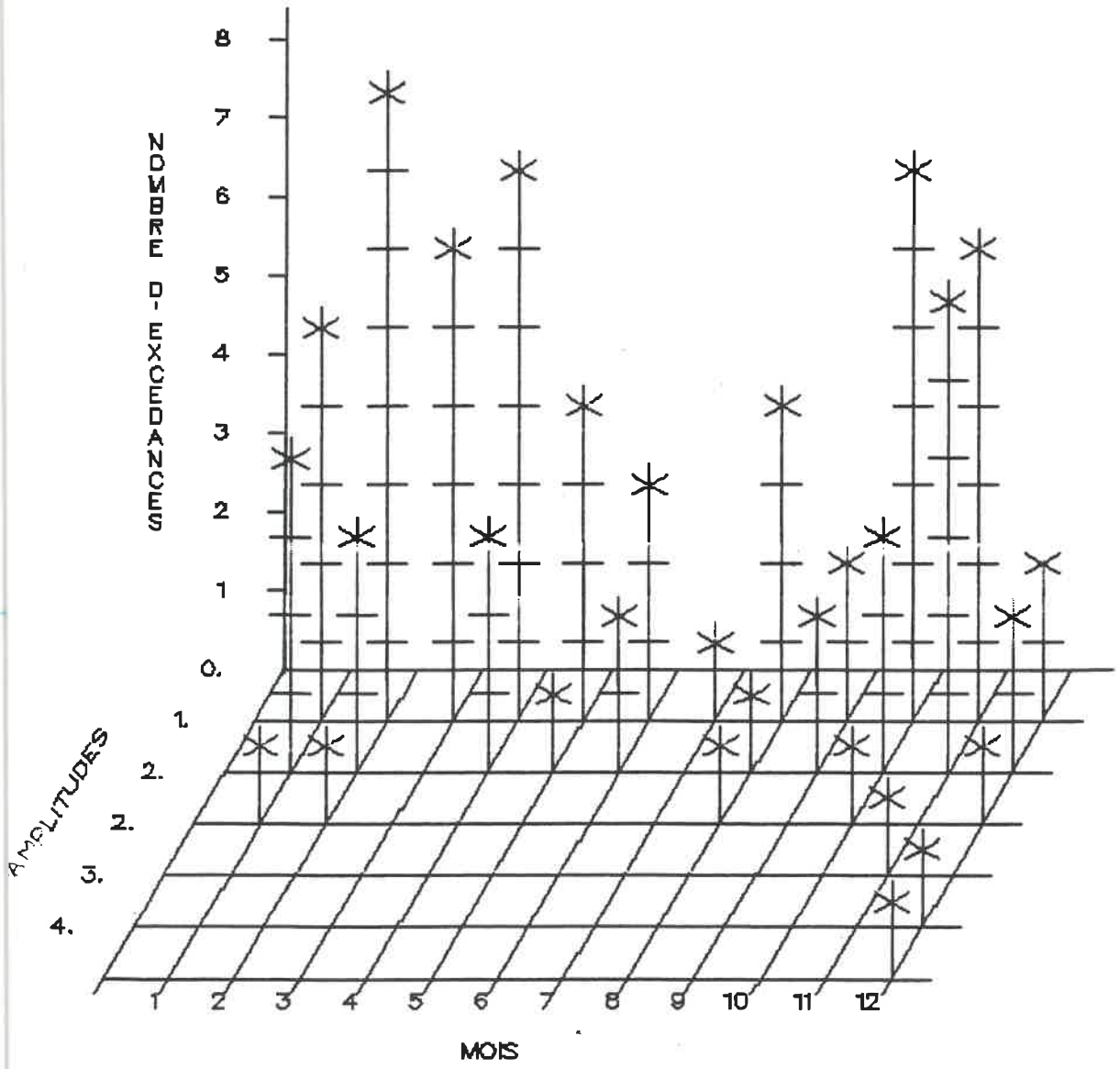


B28.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

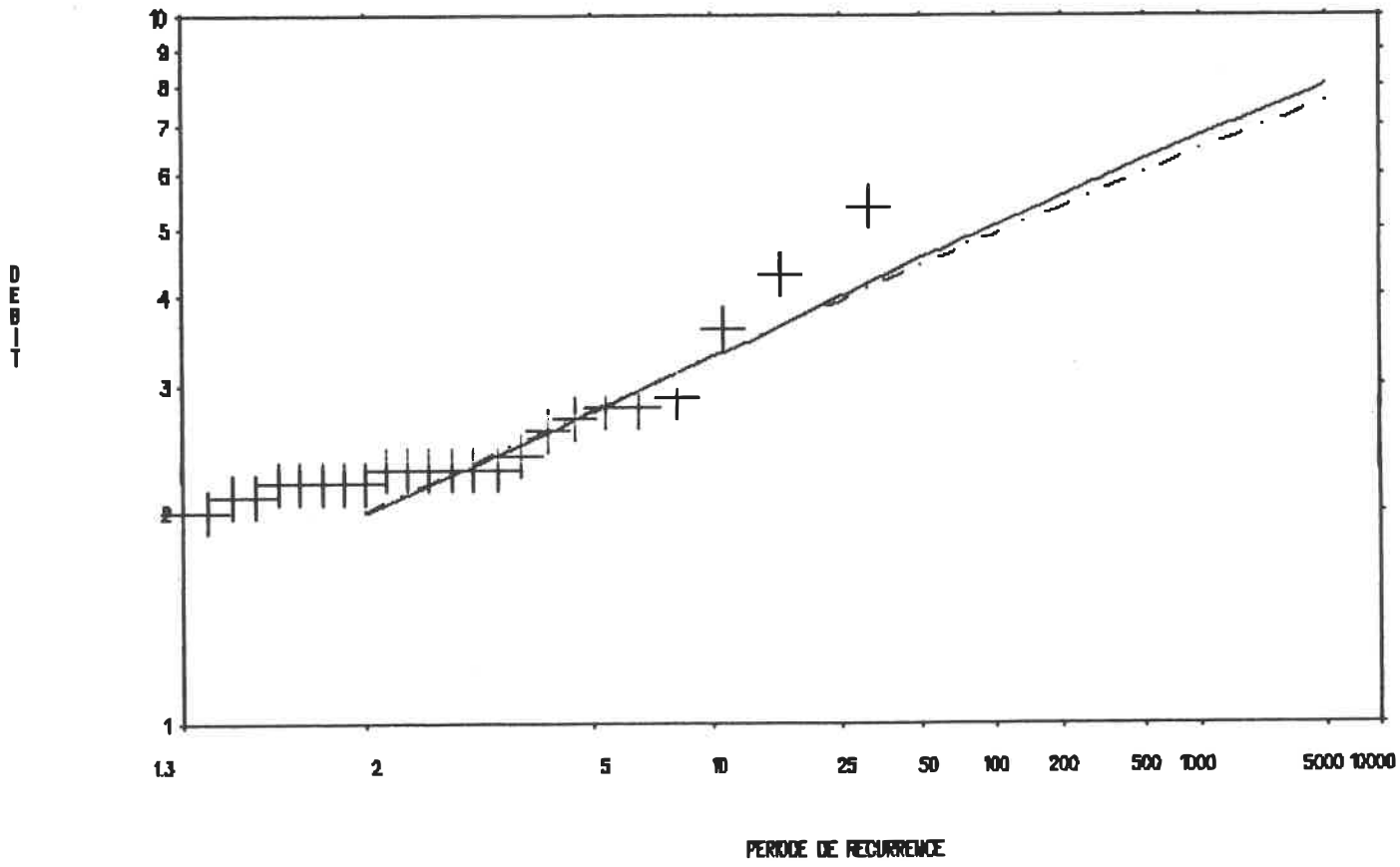


B28.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure B28 - Station 02ZM006



B28.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



B28.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

A N N E X E C

Résultats de l'analyse saisonnière et de l'analyse de fréquence

des stations hydrométriques considérées au Québec

Tableau C.1 - Résultats de l'analyse de fréquence des stations hydrométriques considérées au Québec

No. Station	Q_{base}	Nbr. moy. exc.	Découpage			Tests d'ajustement			λ_k	β_k	C_v
			Type	Critères	Nbr. exc.	Exponentielle Kolmo. Smir.	Exponentielle χ^2	Poisson χ^2			
1. 01BH002	164.0	1.0	1	01 avr - 31 mai	33	A	A	R	0.85	0.0139	0.765
(29)				01 juin- 31 déc	6	A	*	*	0.15	0.0191	
				01 jan - 31 mars	0	*	*	*	0.00	0.0000	
2. 02JB004	24.5	1.48	1	15 avr - 31 juil	38	A	A	R	1.15	0.0611	0.865
(30)				01 août- 15 déc	11	A	*	*	0.33	0.1824	
				16 déc - 14 avr	0	*	*	*	0.00	0.0000	
	24.5	1.48	2	Fonte de neige 01 mai - 31 juil Pcum ≤ 10 mm	14	A	*	*	0.42	0.0692	0.865
				Fonte et pluie 01 mai - 31 juil Pcum > 10 mm	22	A	A	A	0.67	0.0556	
				Pluie 01 août- 30 avr	13	A	*	*	0.39	0.1537	
3. 02KG001	277.0	1.0	1	15 mars- 31 mai	52	R	R	R	0.91	0.0068	0.647
(31)				01 juin- 31 juil	2	*	*	*	0.04	0.0080	
				01 août- 31 déc	2	*	*	*	0.04	0.0196	
				01 jan - 14 mars	1	*	*	*	0.02	0.0213	
4. 02LC004	173.0	1.49	1	20 fév - 31 mai	70	A	A	R	1.23	0.0091	0.812
+02LC007				01 juin- 30 nov	15	A	A	R	0.26	0.0186	
(32)				01 déc - 19 fév	0	*	*	*	0.00	0.0000	
5. 02LC002	428.0	1.0	1	20 fév - 30 juin	44	A	A	A	0.96	0.0073	0.675
+02LC029				01 juil- 30 sept	0	*	*	*	0.00	0.0000	
(33)				01 oct - 30 nov	2	*	*	*	0.04	0.0145	
				01 déc - 19 fév	0	*	*	*	0.00	0.0000	
6. 02ND002	159.0	0.98	1	01 avr - 30 juin	56	A	A	R	0.95	0.0109	0.750
+02ND001				01 juil- 30 nov	2	*	*	*	0.03	0.0417	
(34)				01 déc - 31 mars	0	*	*	*	0.00	0.0000	

Tableau C.1 - suite

No. Station	Q_{base}	Nbr. moy. exc.	Découpage			Tests d'ajustement			λ_k	β_k	C_v
			Type	Critères	Nbr. exc.	Exponentielle Kolmo. Smir.	Exponentielle χ^2	Poisson χ^2			
7. 02NF003	94.6	1.0	1	01 avr - 31 mai	47	A	A	R	0.94	0.0184	0.712
(35)				01 juin- 31 nov	2	*	*	*	0.04	0.0230	
				01 déc - 31 mars	1	*	*	*	0.02	0.0329	
8. 020B001	45.6	1.49	1	15 mars- 31 mai	72	A	A	R	1.26	0.0209	0.887
(36)				01 juin- 30 nov	13	A	*	*	0.33	0.0468	
				01 déc - 14 mars	0	*	*	*	0.00	0.0000	
9. 020B002	127.0	1.0	1	15 mars- 31 mai	45	A	A	R	0.94	0.0145	0.747
+020B007				01 juin- 30 nov	3	*	*	*	0.06	0.0306	
(37)				01 déc - 14 mars	0	*	*	*	0.00	0.0000	
10. 020B003	156.0	1.0	1	25 fév - 30 juin	61	R	R	R	0.95	0.0152	0.647
+020B017				01 juil- 30 sept	0	*	*	*	0.00	0.0000	
(38)				01 oct - 31 déc	3	*	*	*	0.05	0.0435	
				01 jan - 24 fév	0	*	*	*	0.00	0.0000	
11. 020C002	95.8	1.0	1	25 fév - 31 mai	51	A	A	R	0.98	0.0285	0.720
(39)				01 juin- 31 oct	0	*	*	*	0.00	0.0000	
				01 nov - 31 déc	1	*	*	*	0.02	0.0368	
				01 jan - 24 fév	0	*	*	*	0.00	0.0000	
12. 020C001	119.0	1.0	1	01 mars- 15 juin	43	A	A	R	0.91	0.0239	0.803
+020C005				16 juin- 30 sept	0	*	*	*	0.00	0.0000	
(40)				01 oct - 30 nov	4	*	*	*	0.09	0.0580	
				01 déc - 30 avr	0	*	*	*	0.00	0.0000	
13. 020D001	67.7	2.0	1	01 mars-31 mai	79	A	A	R	1.44	0.0186	0.935
(41)				01 juin-31 août	12	A	*	*	0.22	0.0259	
				01 sept-31 déc	18	A	A	R	0.33	0.0332	
				01 jan -29 fév	1	*	*	*	0.02	0.0181	
14. 020E018	39.1	2.0	1	20 fév -30 juin	52	A	A	R	1.41	0.0435	0.889
(42)				01 juil-31 oct	13	A	*	*	0.35	0.1379	
				01 nov -19 fév	9	A	*	*	0.24	0.0579	

Tableau C.1 - suite

No. Station	Q_{base}	Nbr. moy. exc.	Découpage			Tests d'ajustement			λ_k	β_k	C_v
			Type	Critères	Nbr. exc.	Exponentielle Kolmo. Smir.	Exponentielle χ^2	Poisson χ^2			
15. 020E026	121.0	1.5	1	01 mars-20 juin	60	A	A	A	1.15	0.0141	0.914
+020E013				21 juin-31 déc	17	A	A	A	0.33	0.0218	
+020E027				01 jan -29 fév	1	*	*	*	0.02	0.0714	
(43)											
	121.0	1.5	2	Fonte de neige	33	A	A	A	0.63	0.0177	0.914
				01 mars-31 mai							
				Pcum ≤ 20 mm							
				Fonte et pluie	22	A	A	A	0.42	0.0126	
				01 mars-31 mai							
				Pcum > 20 mm							
				Pluie	23	A	A	R	0.44	0.0160	
				01 juin-29 fév							
16. 02PA003	453.0	1.0	1	01 mars-31 mai	50	A	A	R	0.94	0.0069	0.758
(44)				01 juin-31 oct	3	*	*	*	0.06	0.0102	
				01 nov -29 fév	0	*	*	*	0.00	0.0000	
17. 02PA001	513.0	1.0	1	01 avr -31 mai	31	A	A	R	0.86	0.0063	0.733
+02PA007				01 juin-30 sept	1	*	*	*	0.03	0.0909	
(45)				01 oct -30 nov	4	*	*	*	0.11	0.0036	
				01 déc -31 mars	0	*	*	*	0.00	0.0000	
18. 02PD002	246.0	1.45	1	20 mars-31 mai	30	A	R	R	0.91	0.0085	0.833
(46)				01 juin-30 sept	12	A	*	*	0.36	0.0260	
				01 oct -30 nov	6	A	*	*	0.18	0.0075	
				01 déc -19 mars	0	*	*	*	0.00	0.0000	
19. 02PG002	101.0	1.5	1	01 avr -31 mai	59	A	A	R	0.98	0.0184	0.915
+02PG018				01 juin-31 nov	26	A	A	A	0.43	0.0204	
+02PG019				01 déc -31 mars	5	A	*	*	0.08	0.0167	
(47)											
	101.0	1.5	2	Fonte de neige	30	A	A	R	0.50	0.0233	0.915
				01 mars-31 mai							
				Pcum ≤ 20 mm							
				Fonte et pluie	32	A	A	A	0.53	0.0149	
				01 mars-31 mai							
				Pcum > 20 mm							
				Pluie	28	A	A	A	0.47	0.0208	
				01 juin-29 fév							

Tableau C.1 - suite

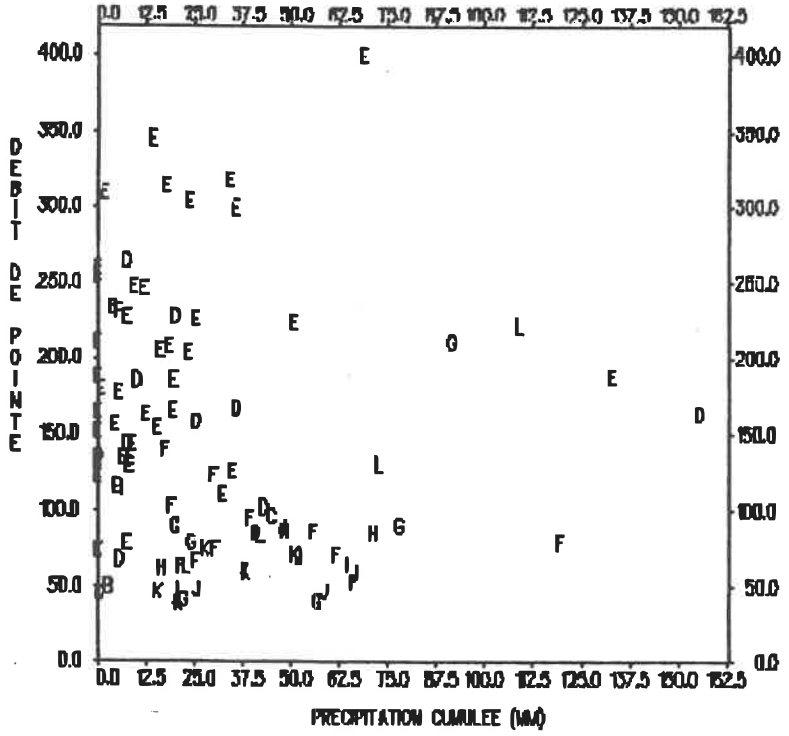
No. Station	Q_{base}	Nbr. moy. exc.	Découpage			Tests d'ajustement			λ_k	β_k	C_v
			Type	Critères	Nbr. exc.	Exponentielle Kolmo. Smir.	Exponentielle χ^2	Poisson χ^2			
20. 02PH001	185.0	1.48	1	01 mars-31 mai	61	A	R	R	1.00	0.0170	1.027
+02PH010				01 juin-31 juil	10	A	*	*	0.16	0.0194	
(48)				01 août-30 nov	17	A	A	A	0.28	0.0130	
				01 déc -29 fév	2	*	*	*	0.03	0.0370	
21. 02PH004	218.0	1.0	1	20 mars-31 mai	40	A	A	R	0.73	0.0144	0.848
+02PH011				01 juin-31 déc	14	A	*	*	0.25	0.0210	
(49)				01 jan -19 mars	1	*	*	*	0.02	0.0161	
22. 02PJ005	906.0	1.0	1	15 mars-30 juin	50	A	A	R	0.85	0.0033	0.818
(50)				01 juil-31 déc	9	A	*	*	0.15	0.0041	
				01 jan -14 mars	0	*	*	*	0.00	0.0000	
23. 02PJ007	144.0	1.0	1	20 fév -31 mai	43	A	A	R	0.73	0.0185	0.770
(51)				01 juin-30 sept	9	A	*	*	0.15	0.0174	
				01 oct -31 déc	7	A	*	*	0.12	0.0205	
				01 jan -19 fév	0	*	*	*	0.00	0.0000	
24. 02PL001	178.0	1.47	1	01 mars-30 juin	54	A	A	A	1.15	0.0079	0.880
(52)				01 juil-20 nov	13	A	*	*	0.28	0.0106	
				21 nov -29 fév	2	*	*	*	0.04	0.0235	
25. 02QA001	157.0	1.0	1	01 avr -31 mai	50	A	A	R	0.82	0.0126	0.818
(53)				01 juin-31 août	1	*	*	*	0.02	0.0476	
				01 sept-31 déc	7	A	*	*	0.11	0.0216	
				01 jan -31 mars	3	*	*	*	0.05	0.0121	
26. 02QB001	219.0	1.48	1	01 avr -10 juin	74	A	A	R	1.28	0.0074	0.866
(54)				11 juin-30 nov	11	A	*	*	0.19	0.0139	
				01 déc -31 mars	1	*	*	*	0.02	0.0133	
27. 02QB003	39.3	1.0	1	01 avr -31 mai	47	A	A	R	0.92	0.0503	0.808
+02QB005				01 juin-31 déc	3	*	*	*	0.06	0.0551	
(55)				01 jan -31 mars	1	*	*	*	0.02	0.2778	

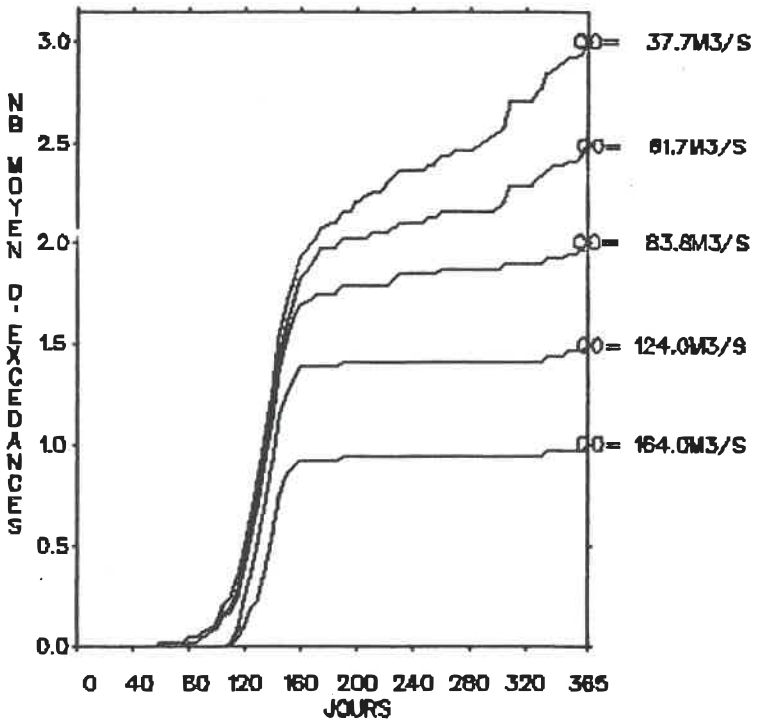
Tableau C.1 - Suite

No. Station	Q_{base}	Nbr. moy. exc.	Découpage Type	Critères	Nbr. exc.	Tests d'ajustement Exponentielle Kolmo. Smir.	Exponentielle χ^2	Poisson χ^2	λ_k	β_k	C_v
28. 02QC001	165.0	1.5	1	01 avr -30 juin	42	A	A	R	1.40	0.0082	0.950
(56)				01 juil-31 oct	3	*	*	*	0.10	0.0300	
				01 nov -31 mars	0	*	*	*	0.00	0.0000	
29. 02RD002	818.0	1.0	1	20 avr -30 juin	23	A	R	R	1.00	0.0036	0.640
(57)				01 juil-31 oct	0	*	*	*	0.00	0.0000	
				01 nov -19 avr	0	*	*	*	0.00	0.0000	
30. 02RD003	793.0	1.0	1	01 avr -30 juin	20	A	R	A	0.91	0.0021	0.621
(58)				01 juil-15 nov	2	*	*	*	0.09	0.0238	
				16 nov -31 mars	0	*	*	*	0.00	0.0000	
31. 02RF001	1020.0	1.0	1	01 avr -30 juin	22	A	A	R	1.00	0.0018	0.612
(59)				01 juil-30 nov	0	*	*	*	0.00	0.0000	
				01 déc -31 mars	0	*	*	*	0.00	0.0000	
32. 02VA001	131.0	0.97	1	01 jan -31 mars	0	*	*	*	0.00	0.0000	1.385
(60)				01 avr -30 juin	22	A	A	R	0.65	0.0173	
				01 juil-30 sept	4	*	*	*	0.12	0.0199	
				01 oct -31 déc	7	A	*	*	0.21	0.0046	
	131.0	0.97	2	Fonte de neige	13	A	*	*	0.38	0.0287	1.385
				01 avr -31 mai							
				Pcum ≤ 20 mm							
				Fonte et pluie	6	A	*	*	0.18	0.0114	
				01 avr -31 mai							
				Pcum > 20 mm							
				Pluie	14	A	*	*	0.41	0.0069	
				01 juin-31 mars							
33. 02VC001	1150.0	1.0	1	01 mai -30 juin	27	A	A	R	0.96	0.0017	0.556
(61)				01 juil-30 nov	1	*	*	*	0.04	0.0010	
				01 déc -30 avr	0	*	*	*	0.00	0.0000	
34. 03AC001	55.8	1.49	1	01 avr -31 mai	38	A	R	R	0.84	0.0223	0.967
+03AC005				01 juin-30 sept	17	A	A	A	0.38	0.0509	
(62)				01 oct -31 déc	12	A	*	*	0.27	0.0419	
				01 jan -31 mars	0	*	*	*	0.00	0.0000	

Tableau C.1 - Suite et fin

No. Station	Q_{base}	Nbr. moy. exc.	Découpage			Tests d'ajustement			λ_k	β_k	C_v
			Type	Critères	Nbr. exc.	Exponentielle Kolmo. Smir.	Exponentielle χ^2	Poisson χ^2			
35. 03AC002	379.0	1.0	1	20 avr -31 mai	38	A	R	R	0.86	0.0044	0.764
+03AC007				01 juin-31 août	3	*	*	*	0.07	0.0119	
(63)				01 sept-30 nov	3	*	*	*	0.07	0.0057	
				01 déc -19 avr	0	*	*	*	0.00	0.0000	
36. 03HA009	160.0	1.0	1	01 juin-31 juil	21	A	R	R	0.95	0.0078	0.576
+03HA012				01 août-31 oct	1	*	*	*	0.05	0.3333	
(64)				01 nov -31 mai	0	*	*	*	0.00	0.0000	
37. 03KC004	3670.0	1.0	1	01 mai -30 juin	20	A	A	R	0.95	0.0007	0.650
(65)				01 juil-31 oct	1	*	*	*	0.05	0.0008	
				01 nov -30 avr	0	*	*	*	0.00	0.0000	
38. 03LF002	4010.0	1.0	1	01 mai -30 juin	20	A	A	R	0.91	0.0003	0.729
(66)				01 juil-30 sept	2	*	*	*	0.09	0.0010	
				01 oct -30 avr	0	*	*	*	0.00	0.0000	
39. 03MC002	1990.0	1.0	1	01 mai -30 juin	20	R	R	R	1.00	0.0006	0.460
(67)				01 juil-30 avr	0	*	*	*	0.00	0.0000	
40. 04NA002	147.0	1.0	1	01 avr -30 juin	67	A	A	R	0.96	0.0189	0.789
+04NA001				01 juil-30 sept	0	*	*	*	0.00	0.0000	
(68)				01 oct -31 déc	3	*	*	*	0.04	0.0297	
				01 jan -31 mars	0	*	*	*	0.00	0.0000	

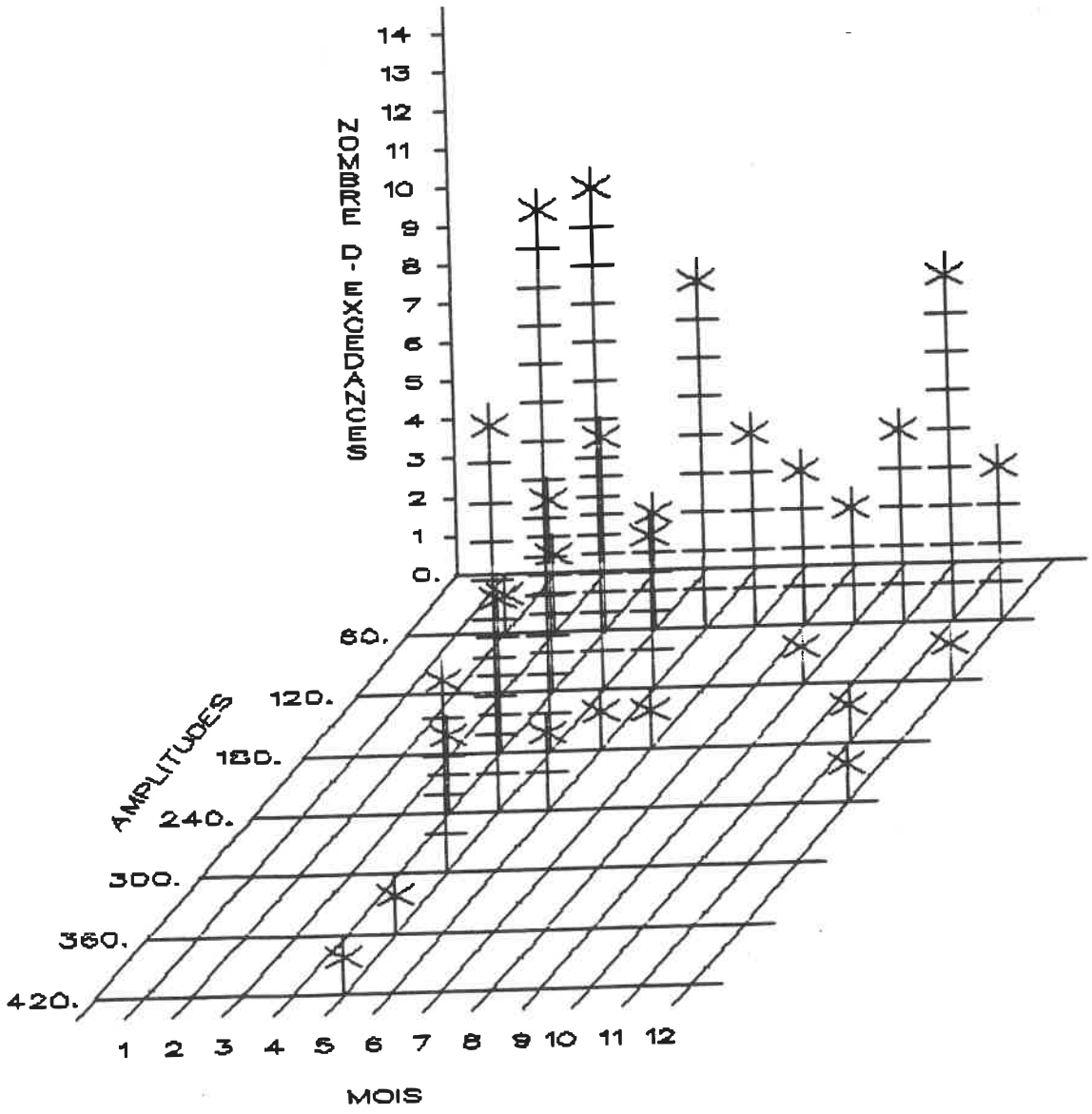




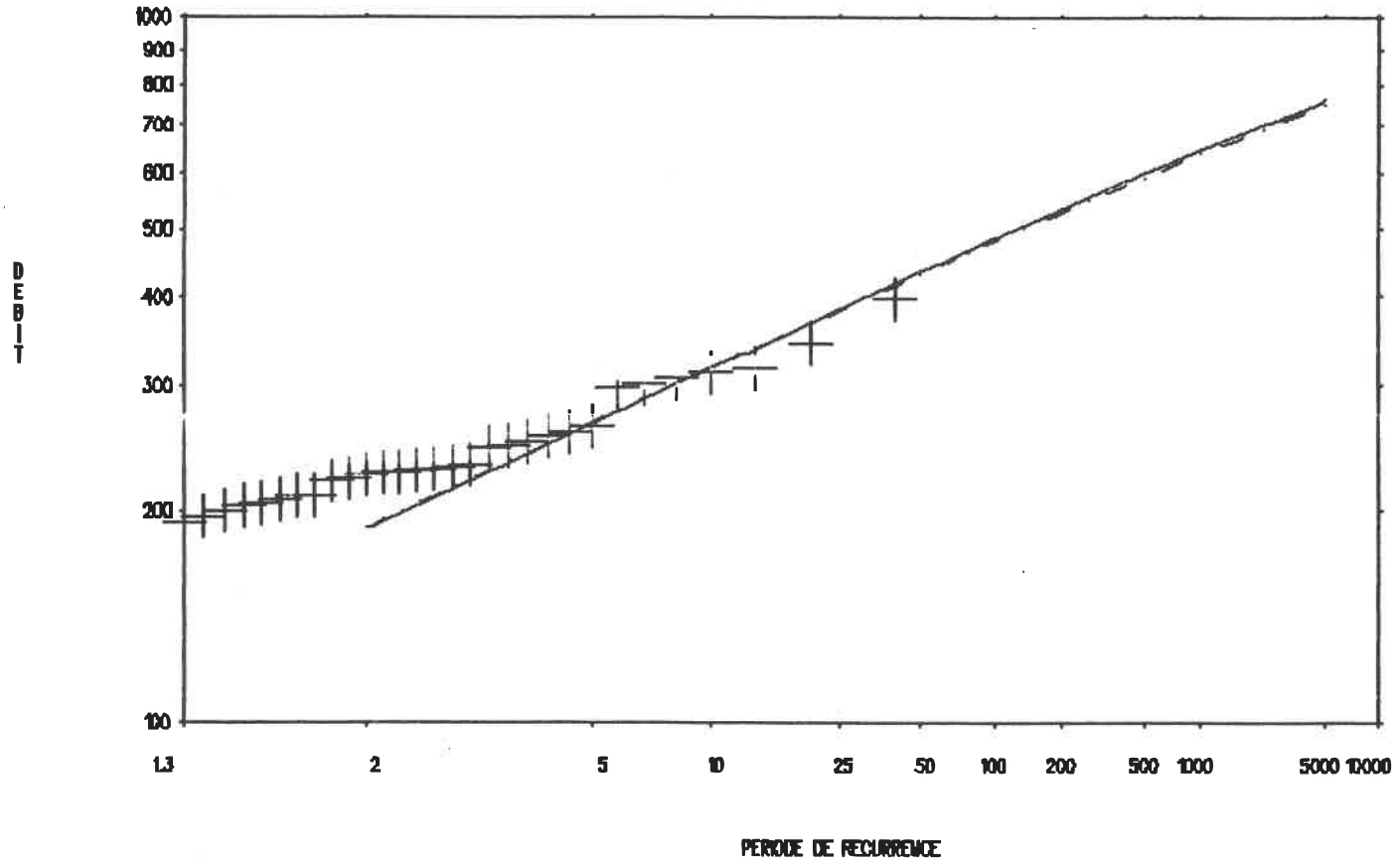
C1.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

C1.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C1 - Station 01BH002



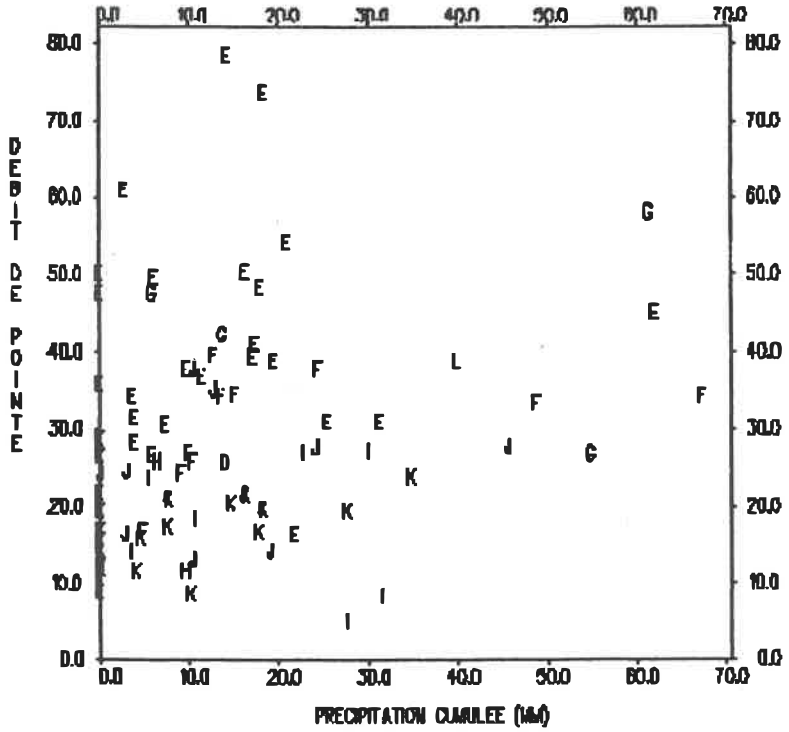
C1.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois

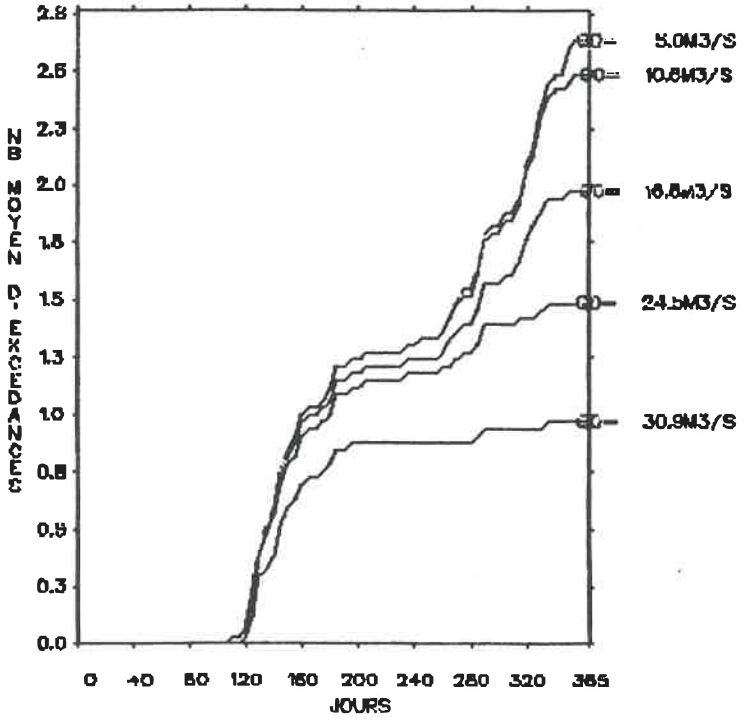


C1.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

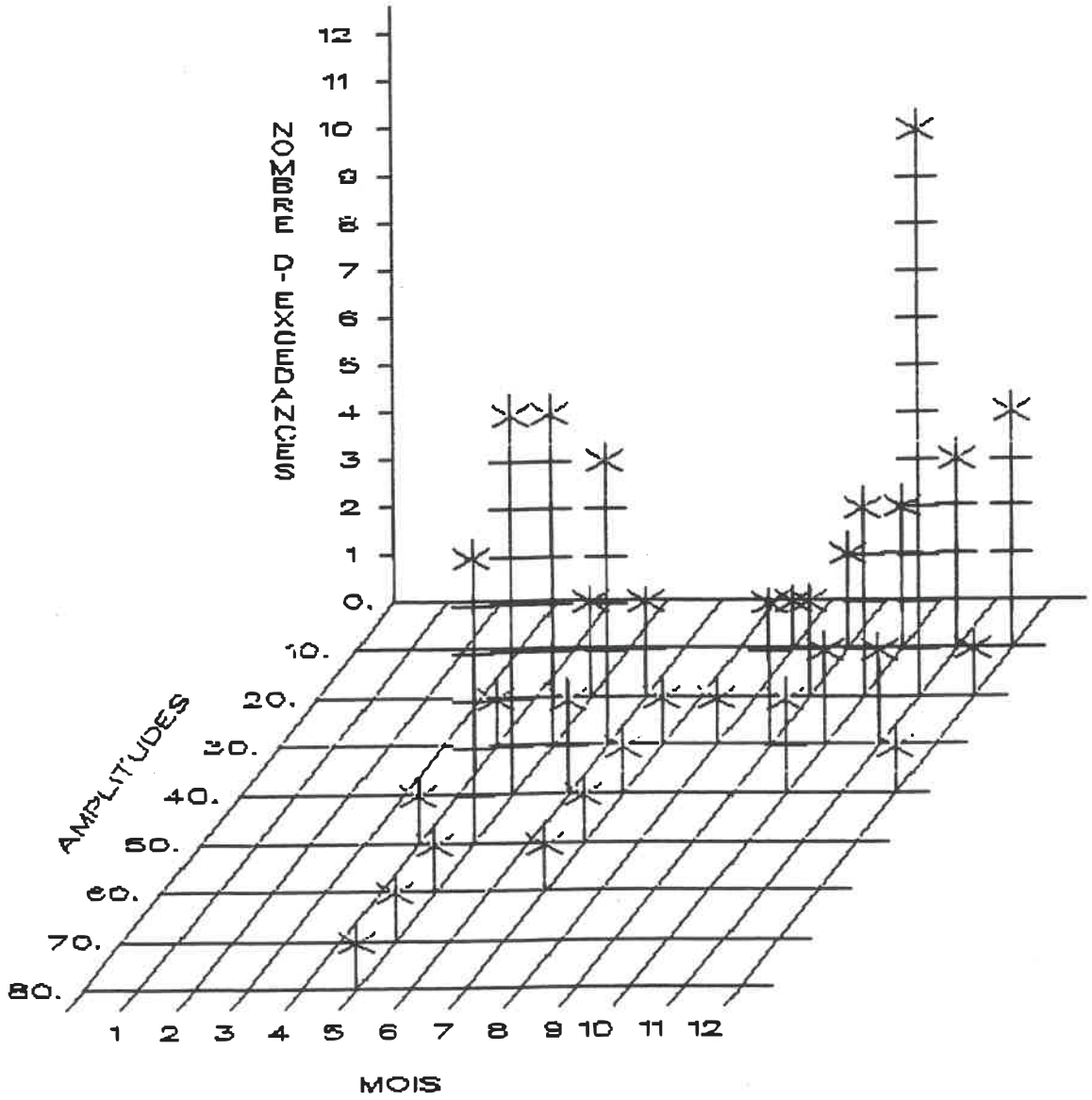




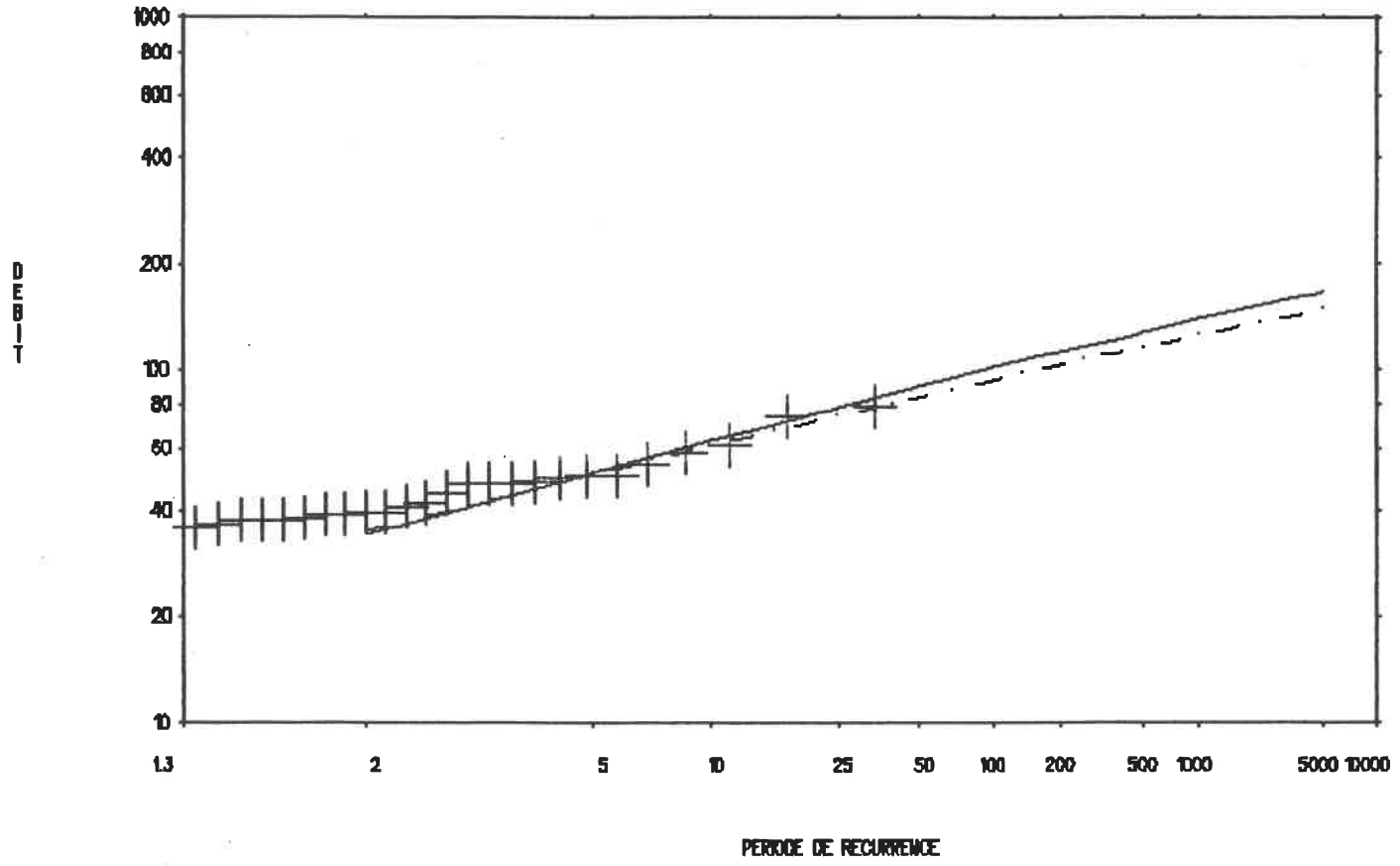
C2.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

C2.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C2 - Station 02JB004



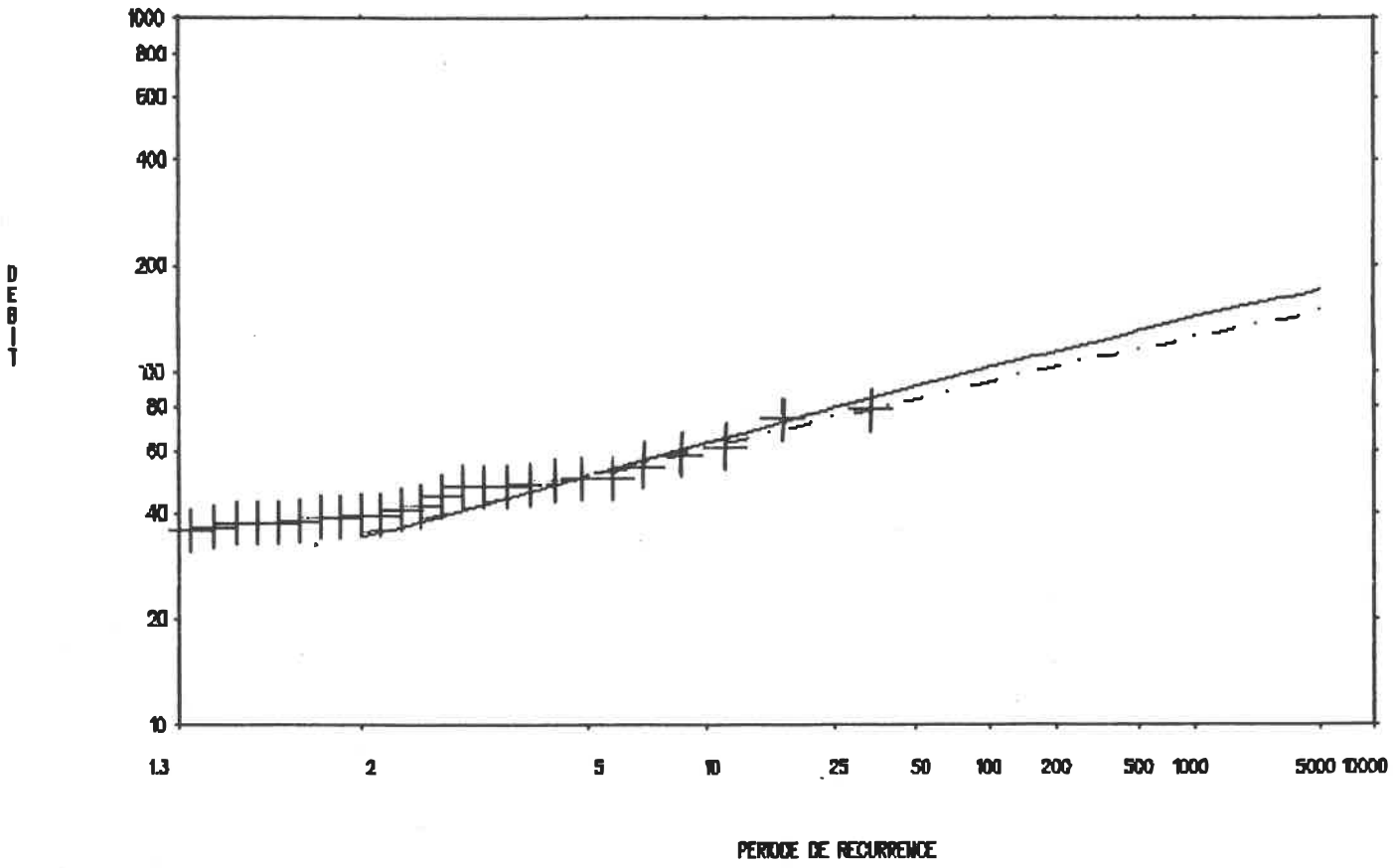
C2.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



C2.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

—— découpage en périodes homogènes

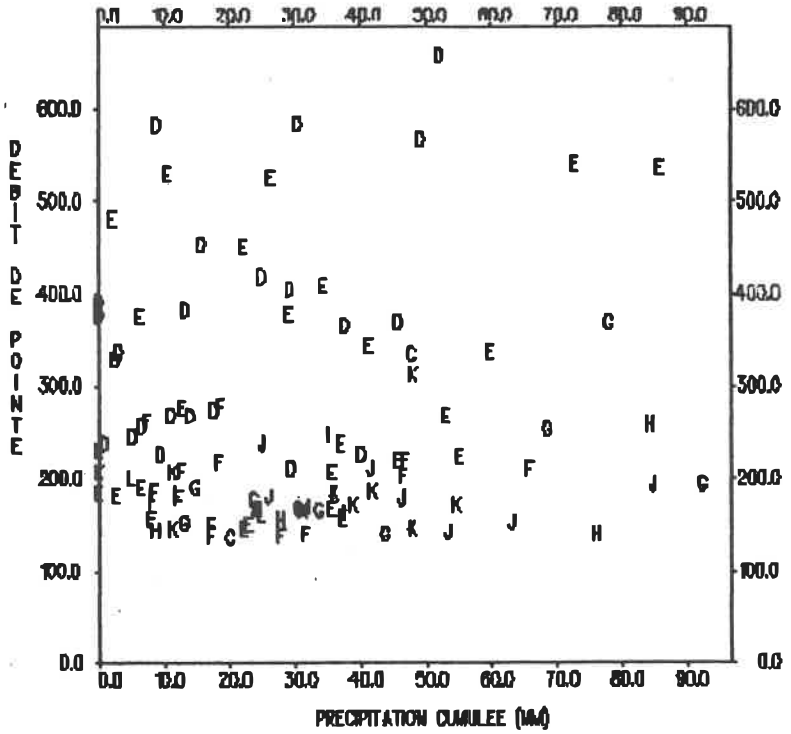
—·—· analyse annuelle



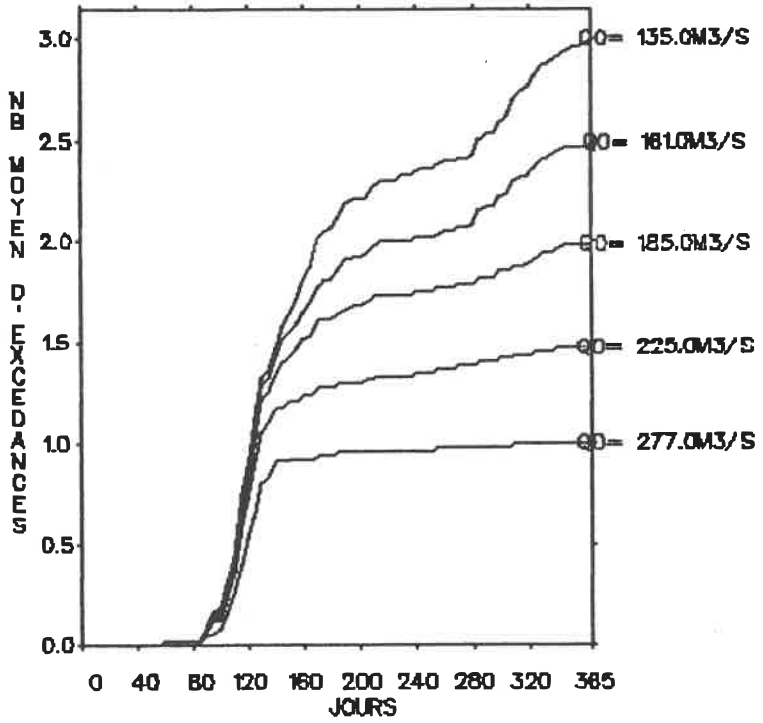
C2.e - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

—— découpage selon les phénomènes générateurs

– – analyse annuelle

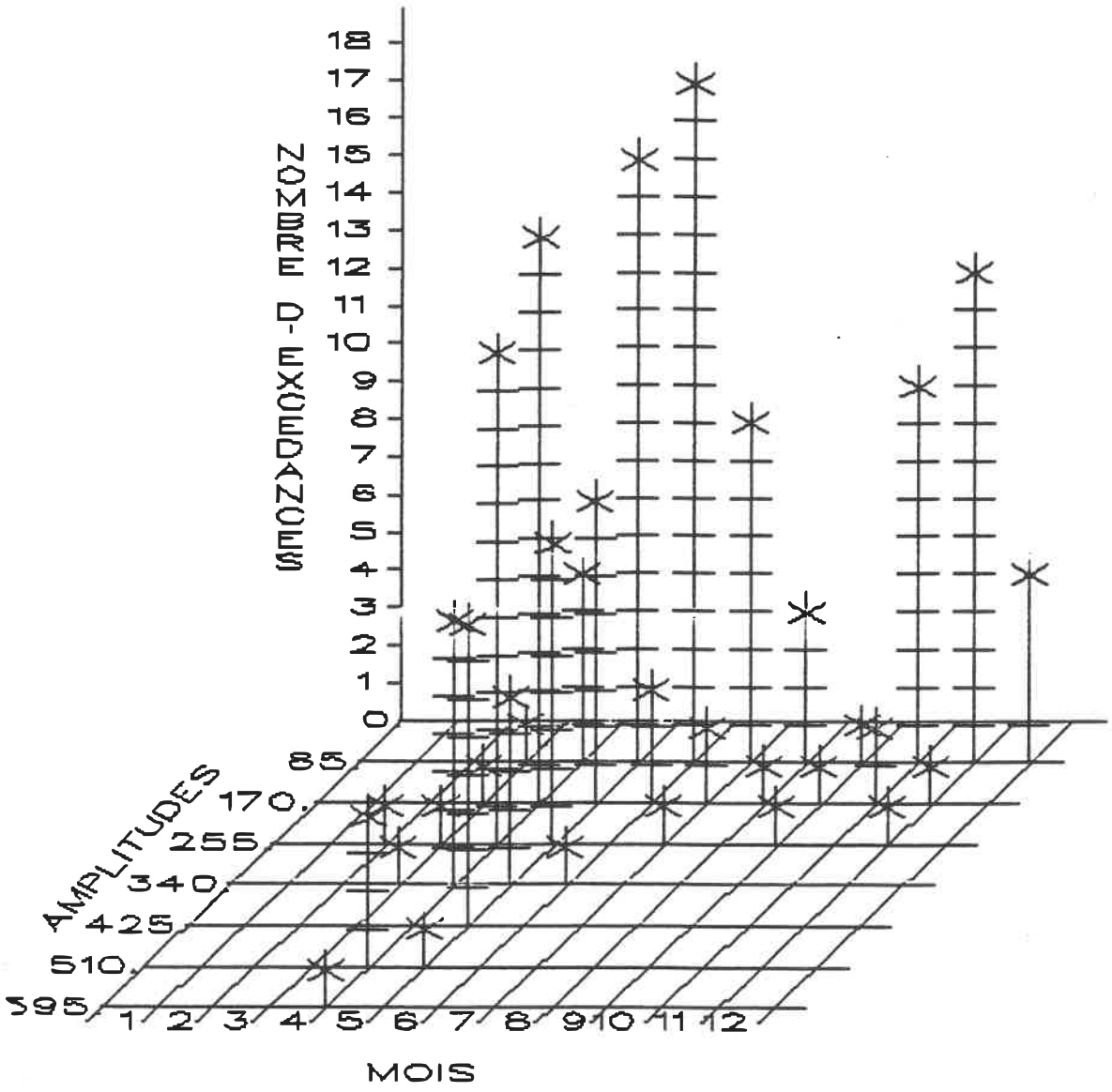


C3.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

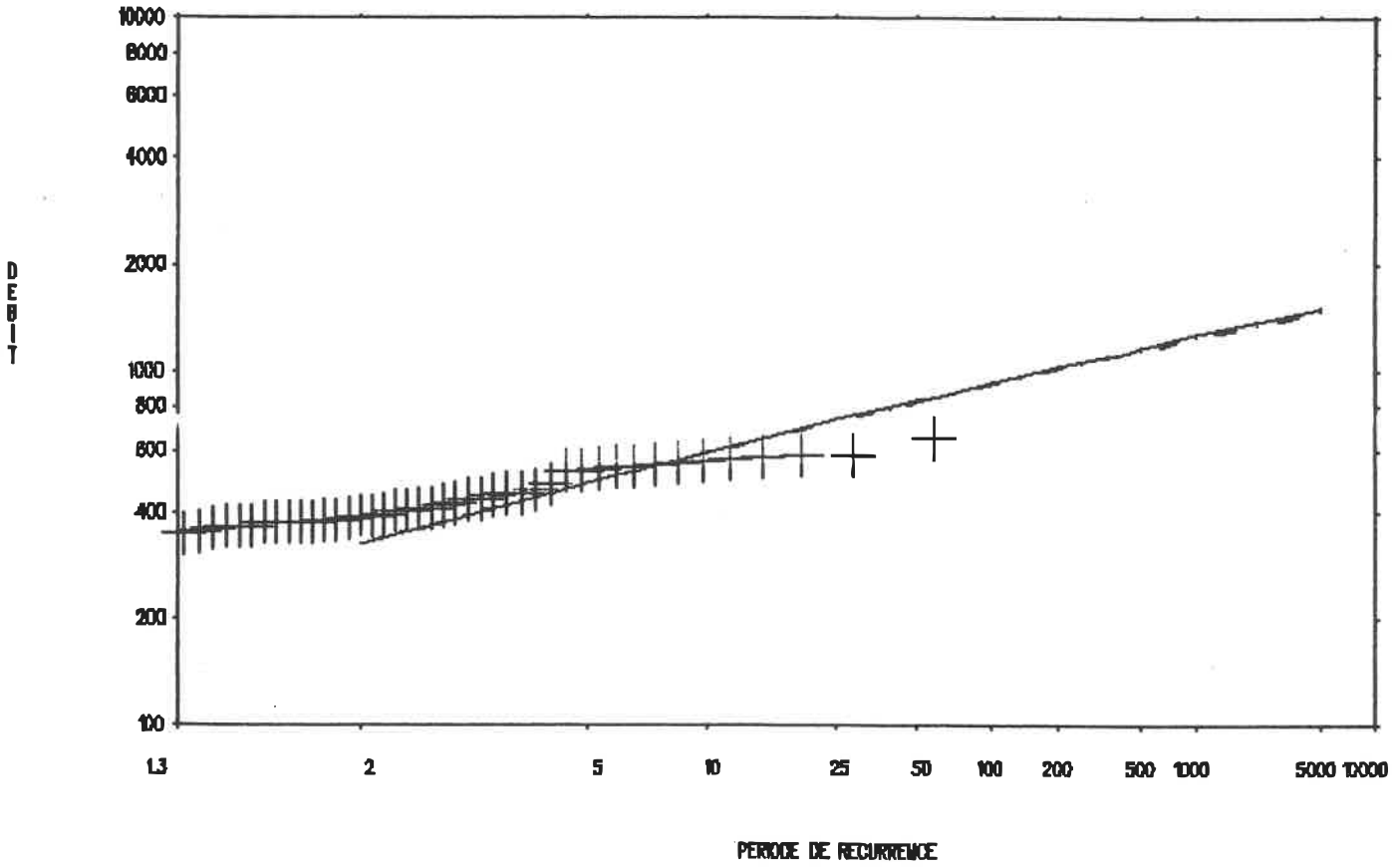


C3.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C3 - Station 02KG001



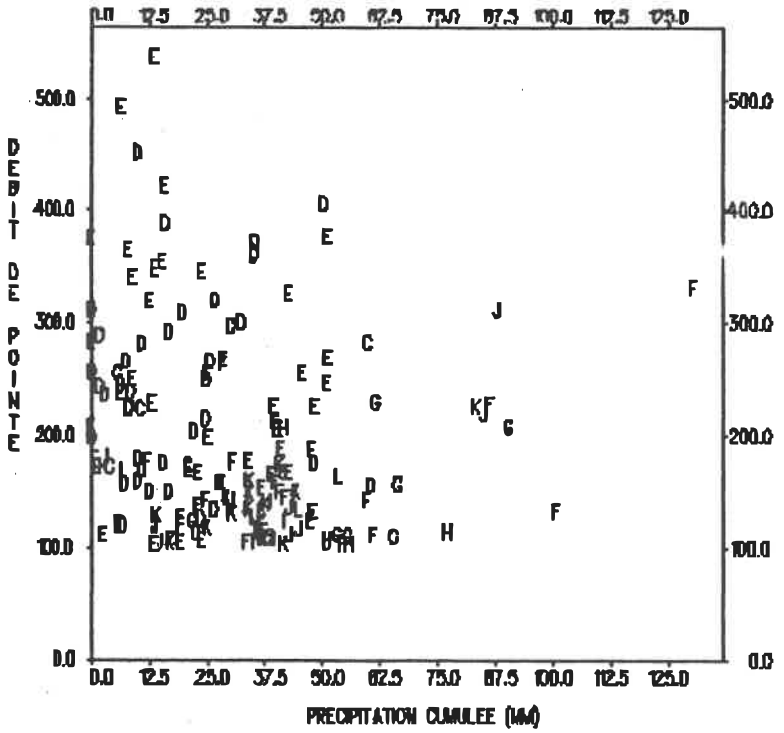
C3.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois

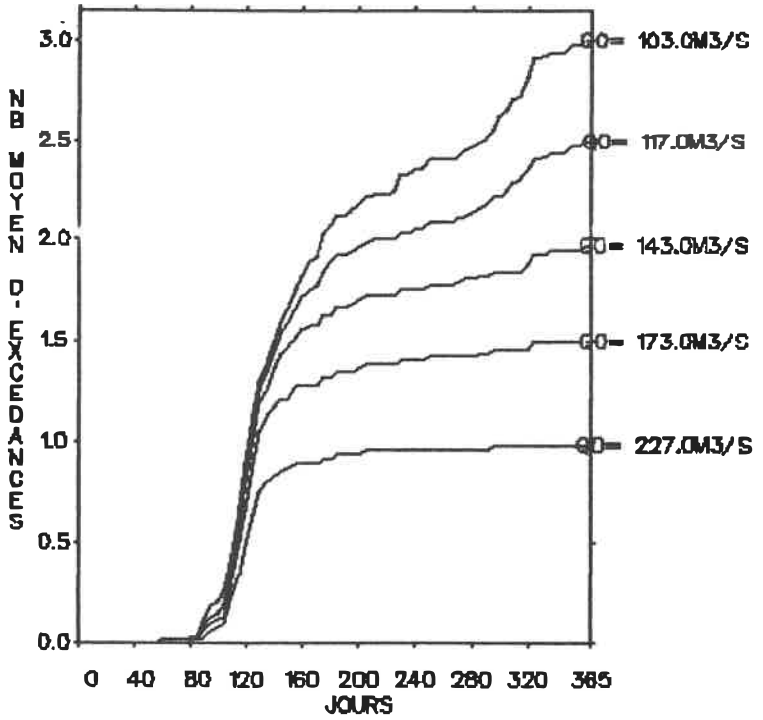


C3.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

—— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

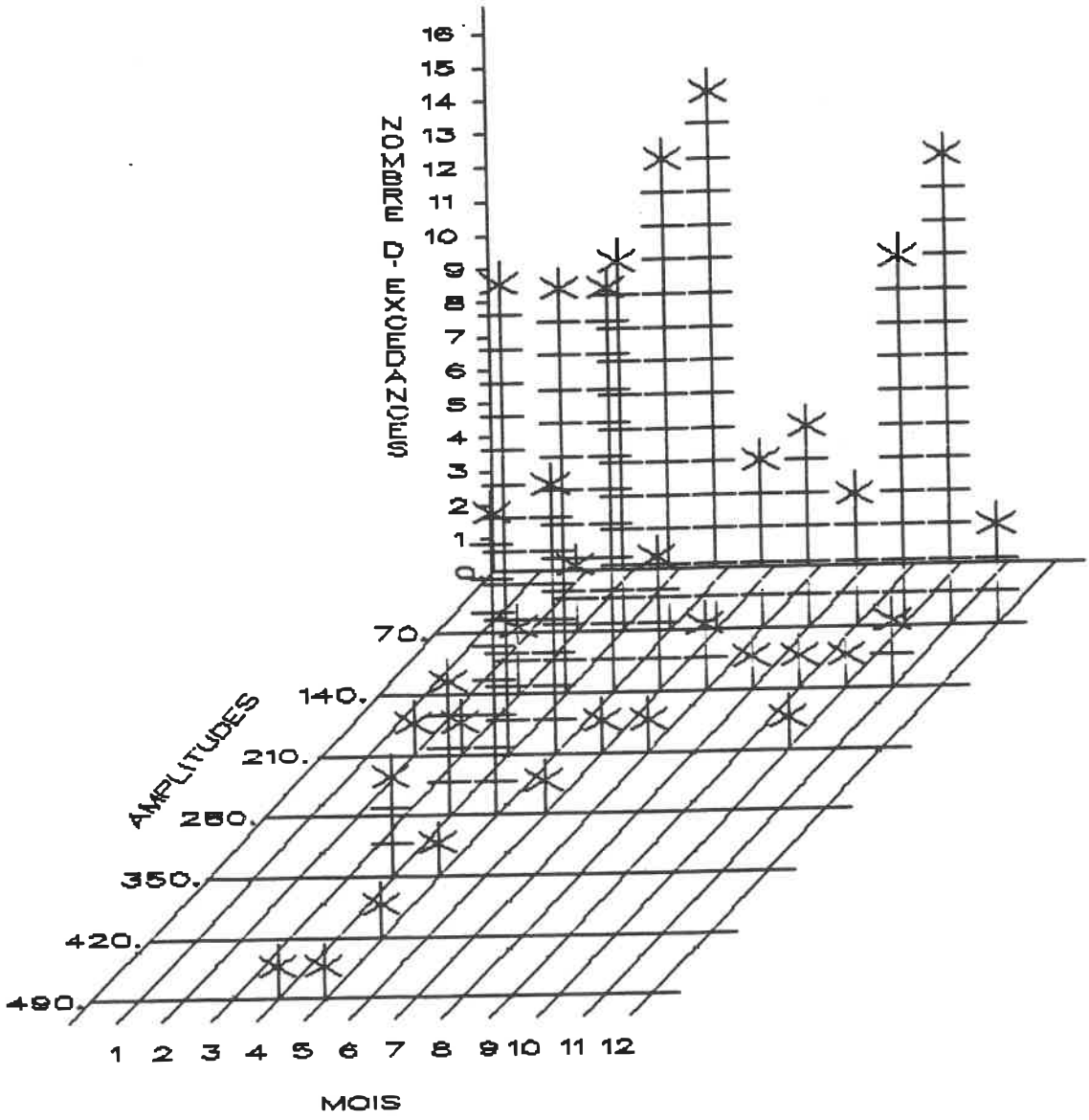




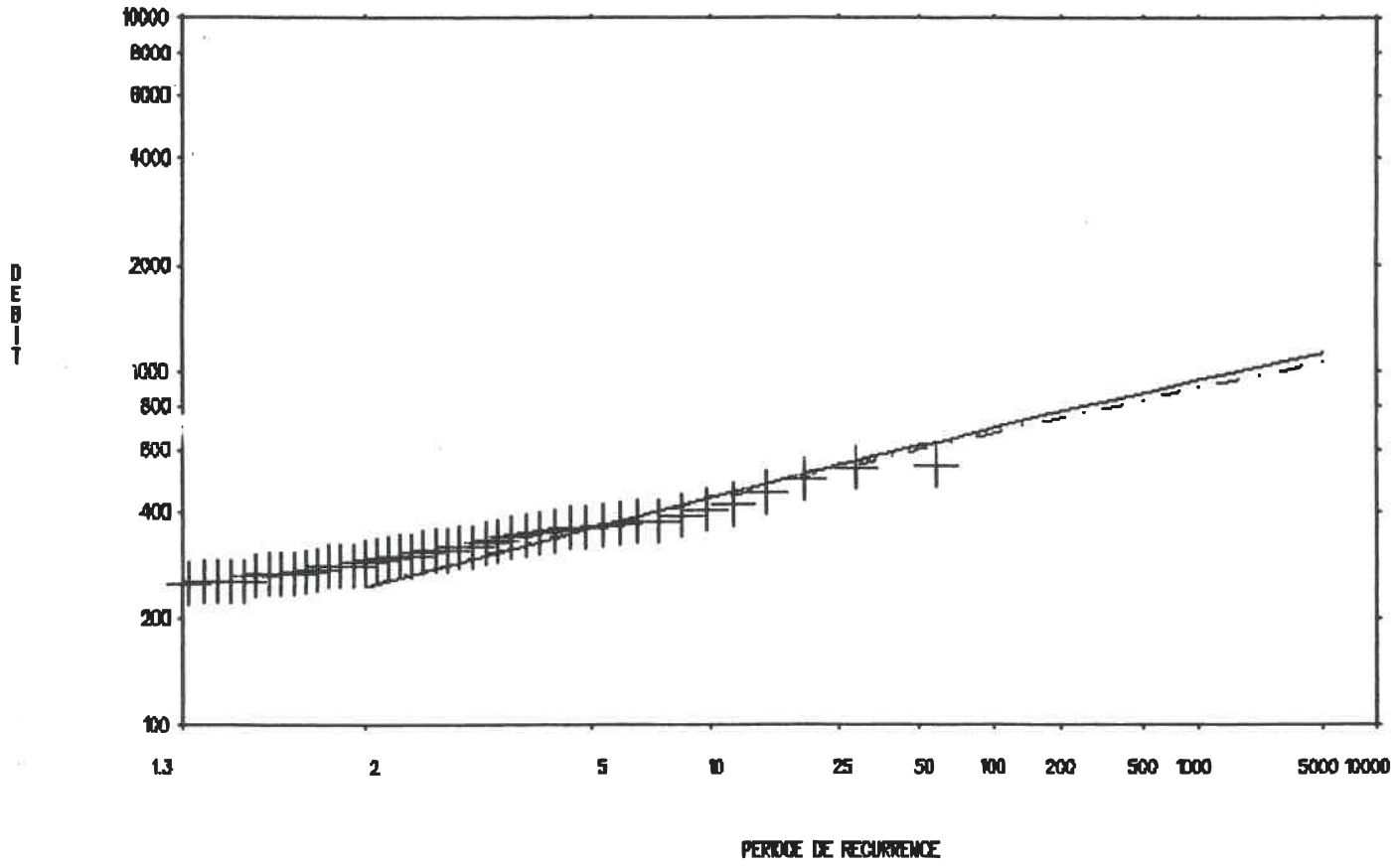
C4.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

C4.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C4 - Stations 02LC004 + 02LC007



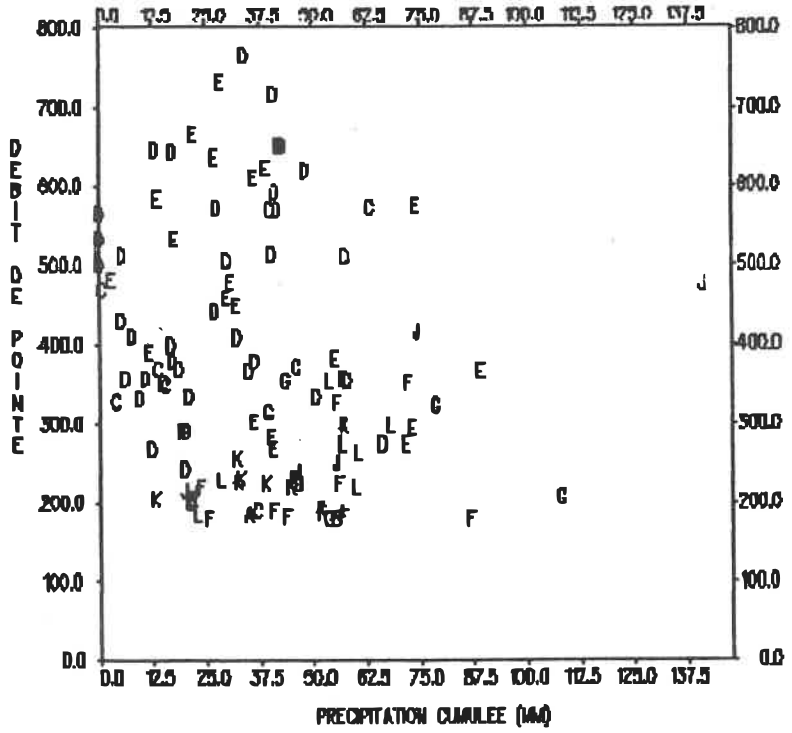
C4.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois

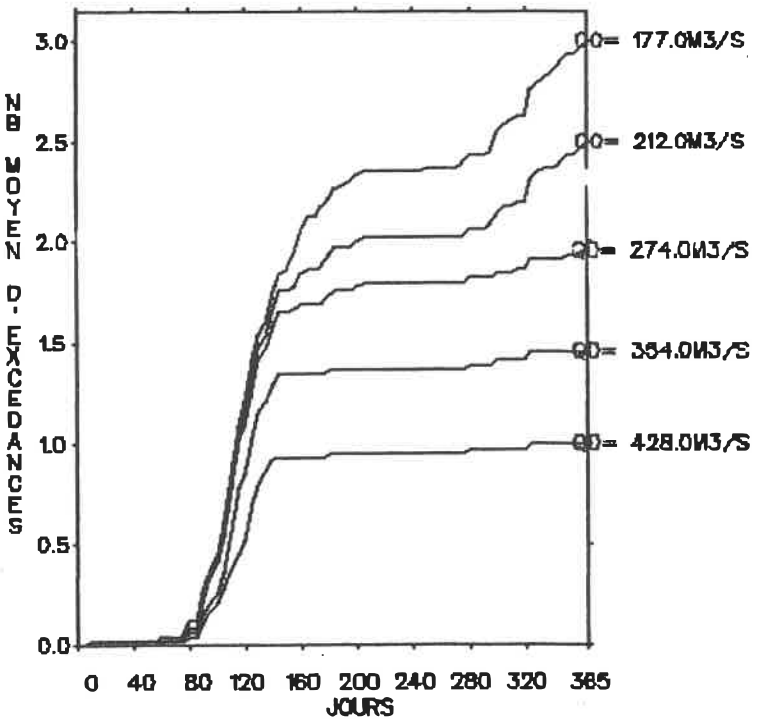


C4.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

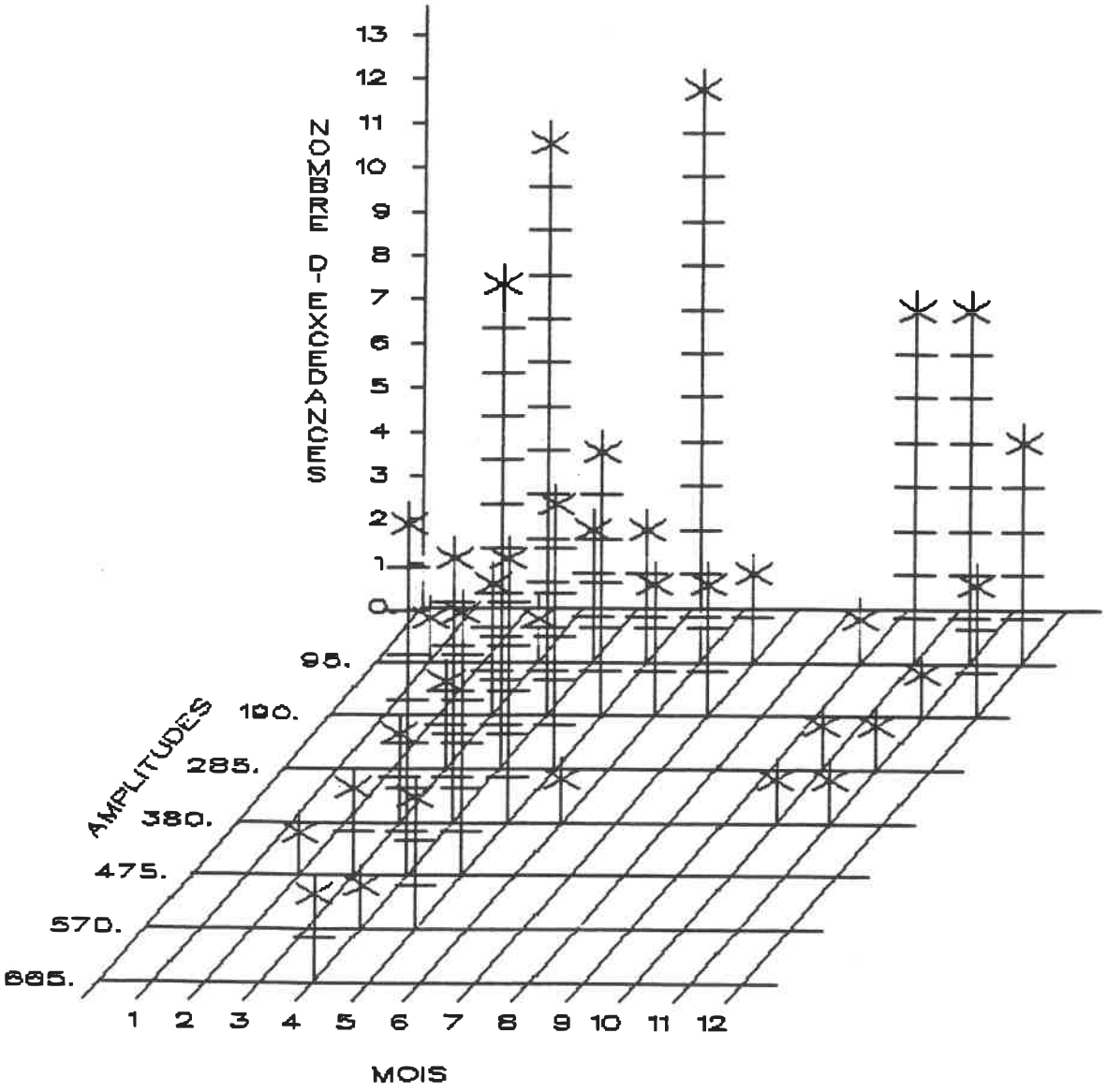




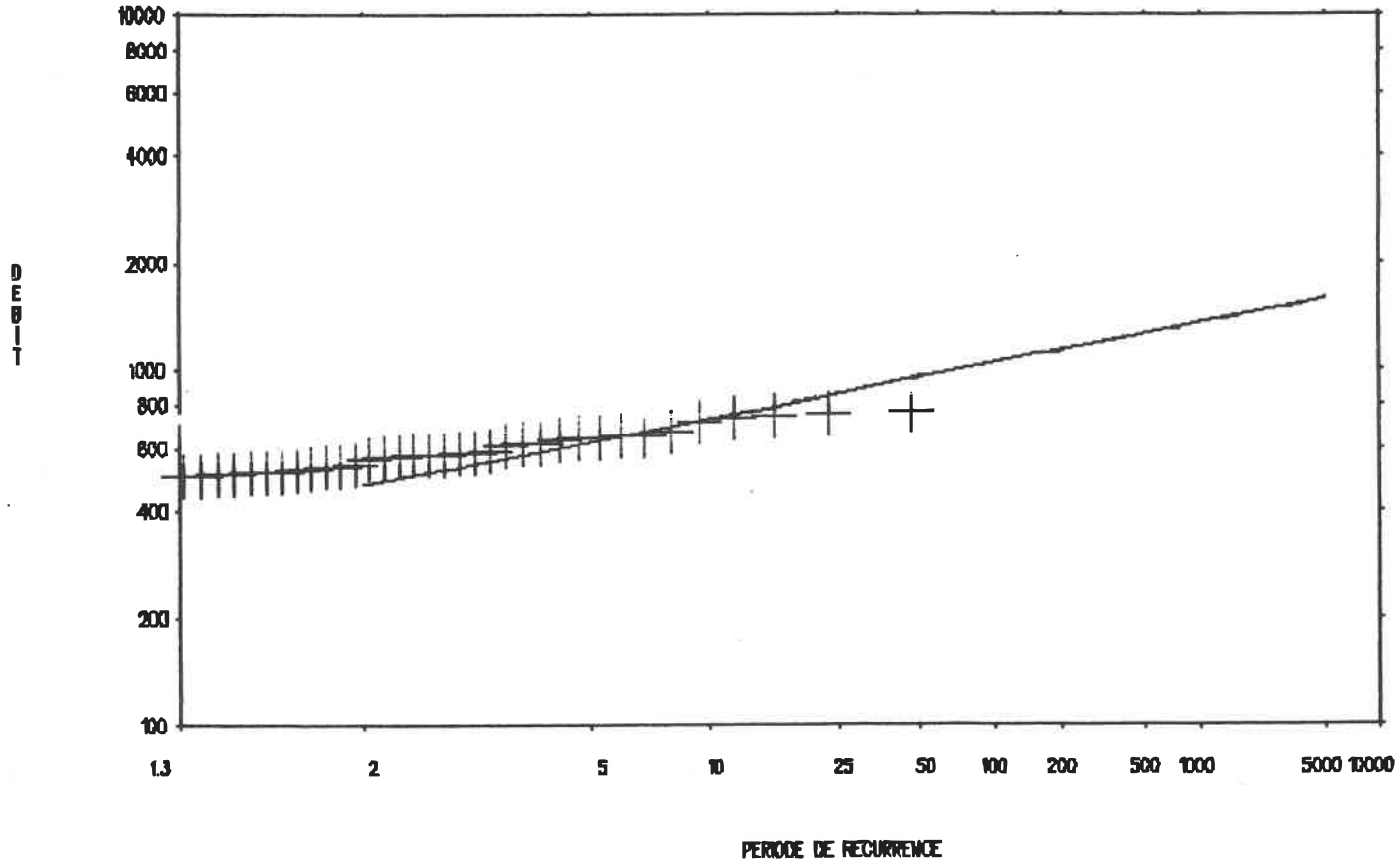
C5.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

C5.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C5 - Stations 02LC002 + 02LC029



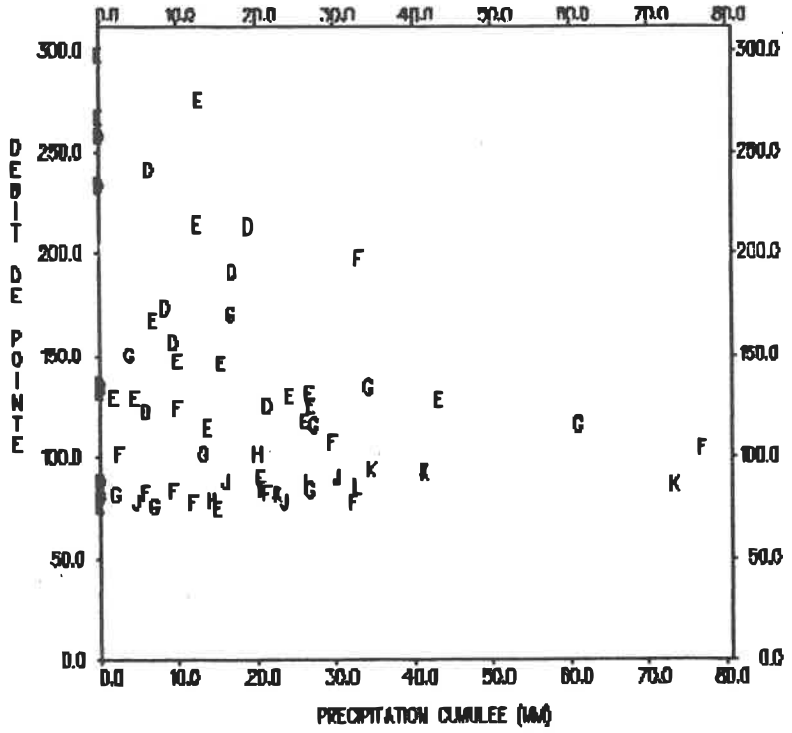
C5.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois

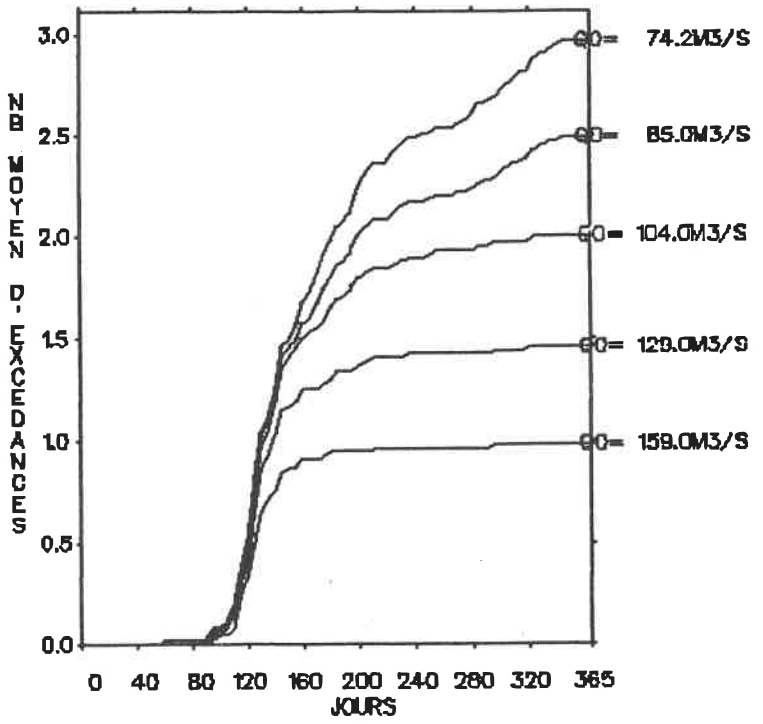


C5.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

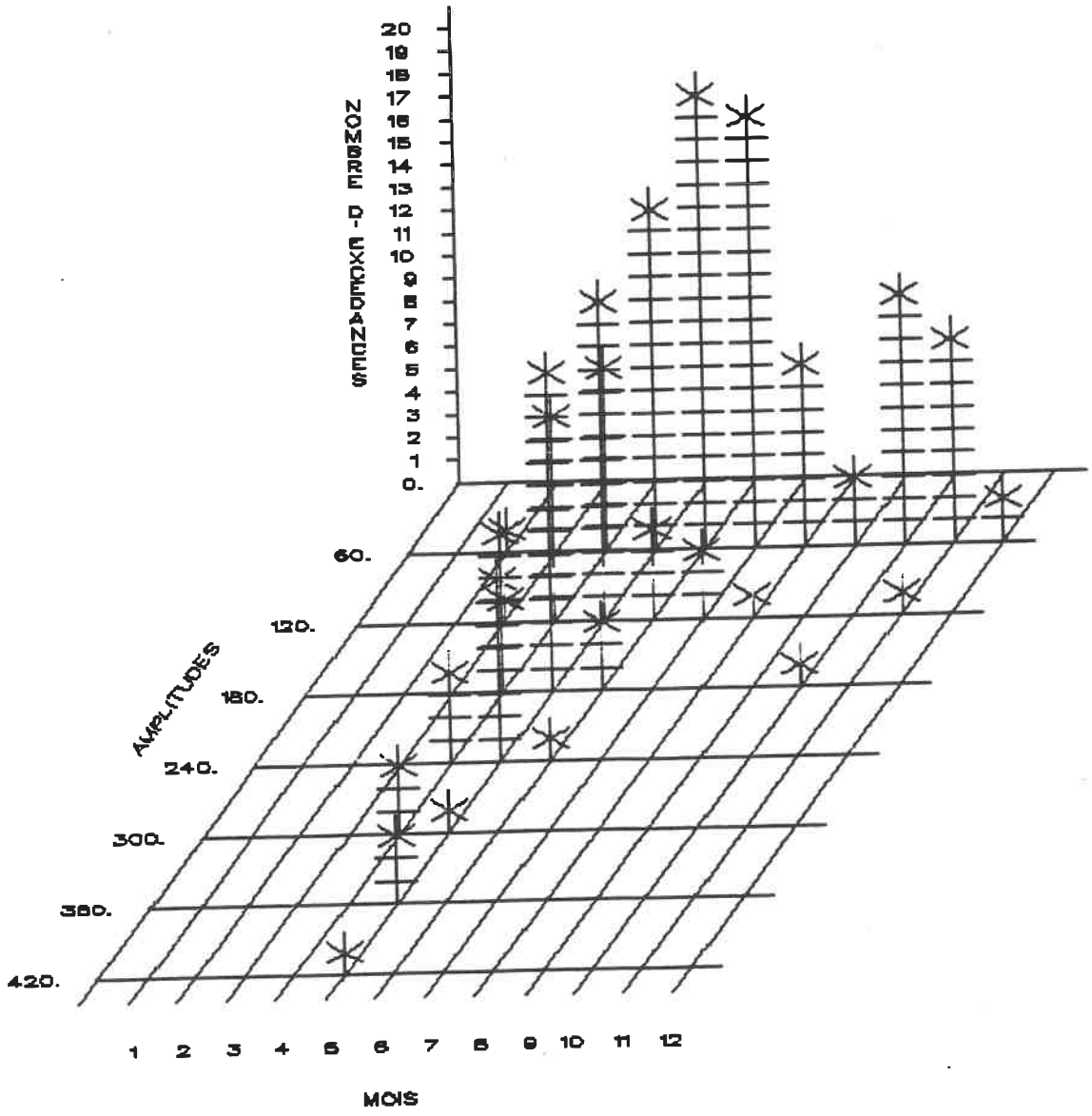




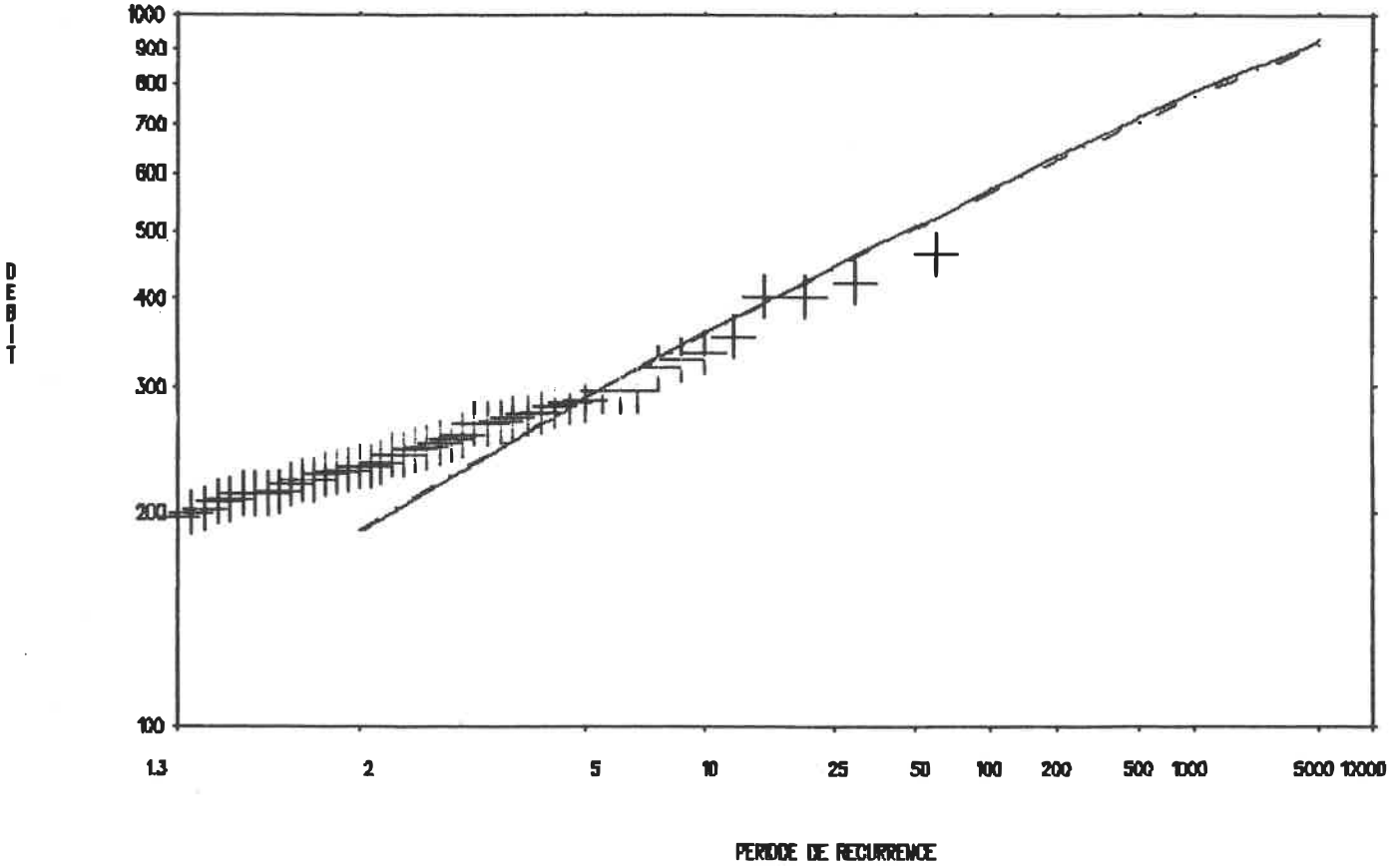
C6.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

C6.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

FIGURE C6 - Station 02ND002 + 02ND001



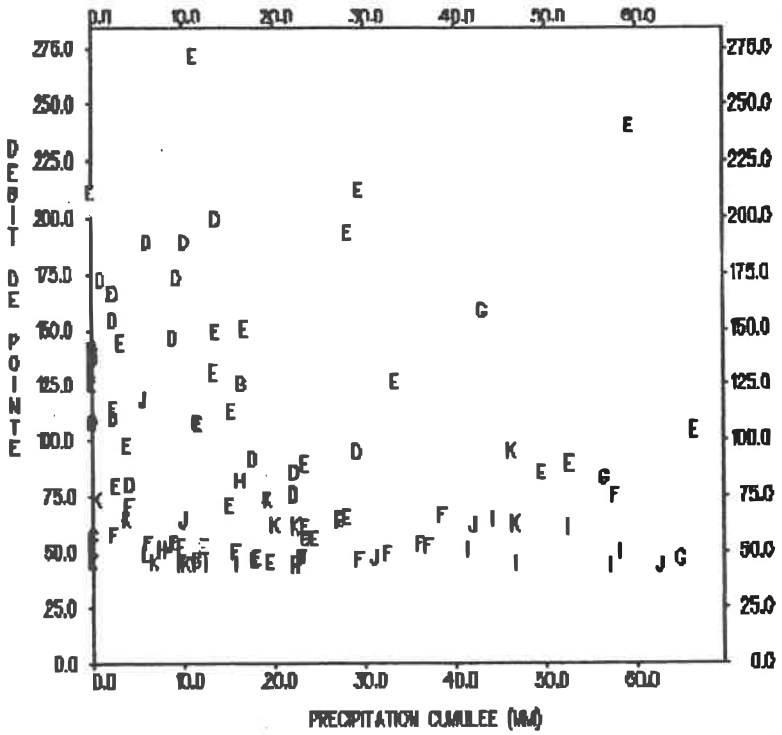
C6.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois

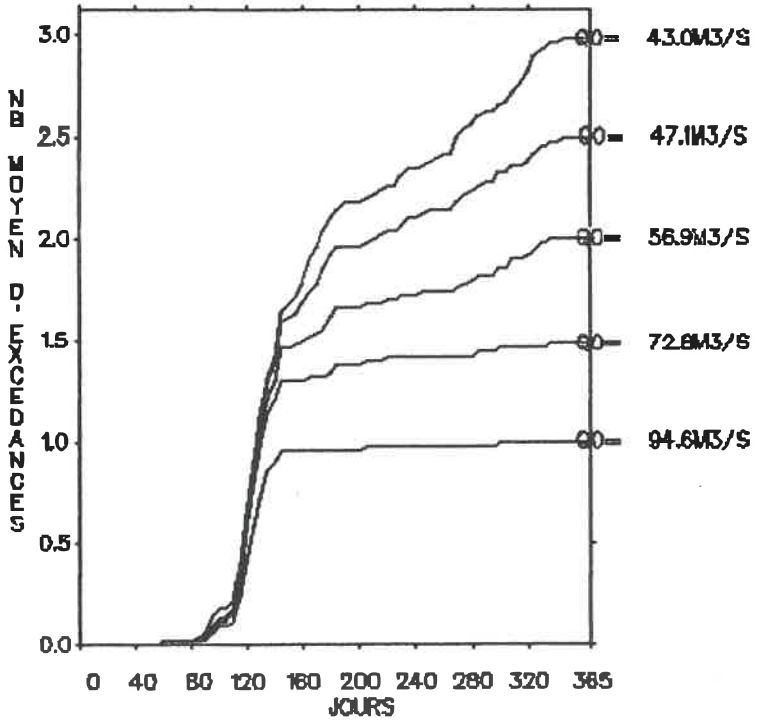


C6.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

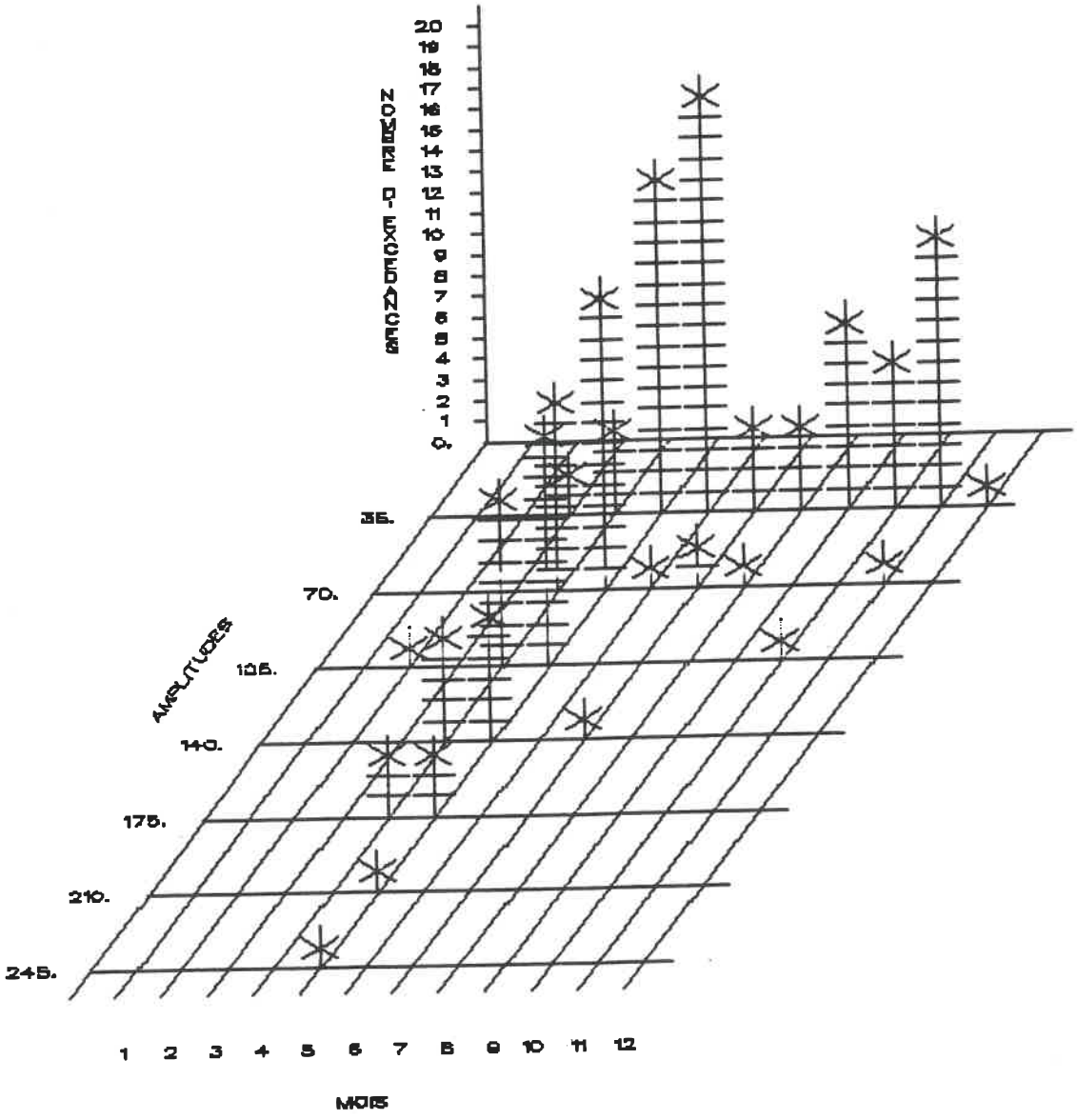




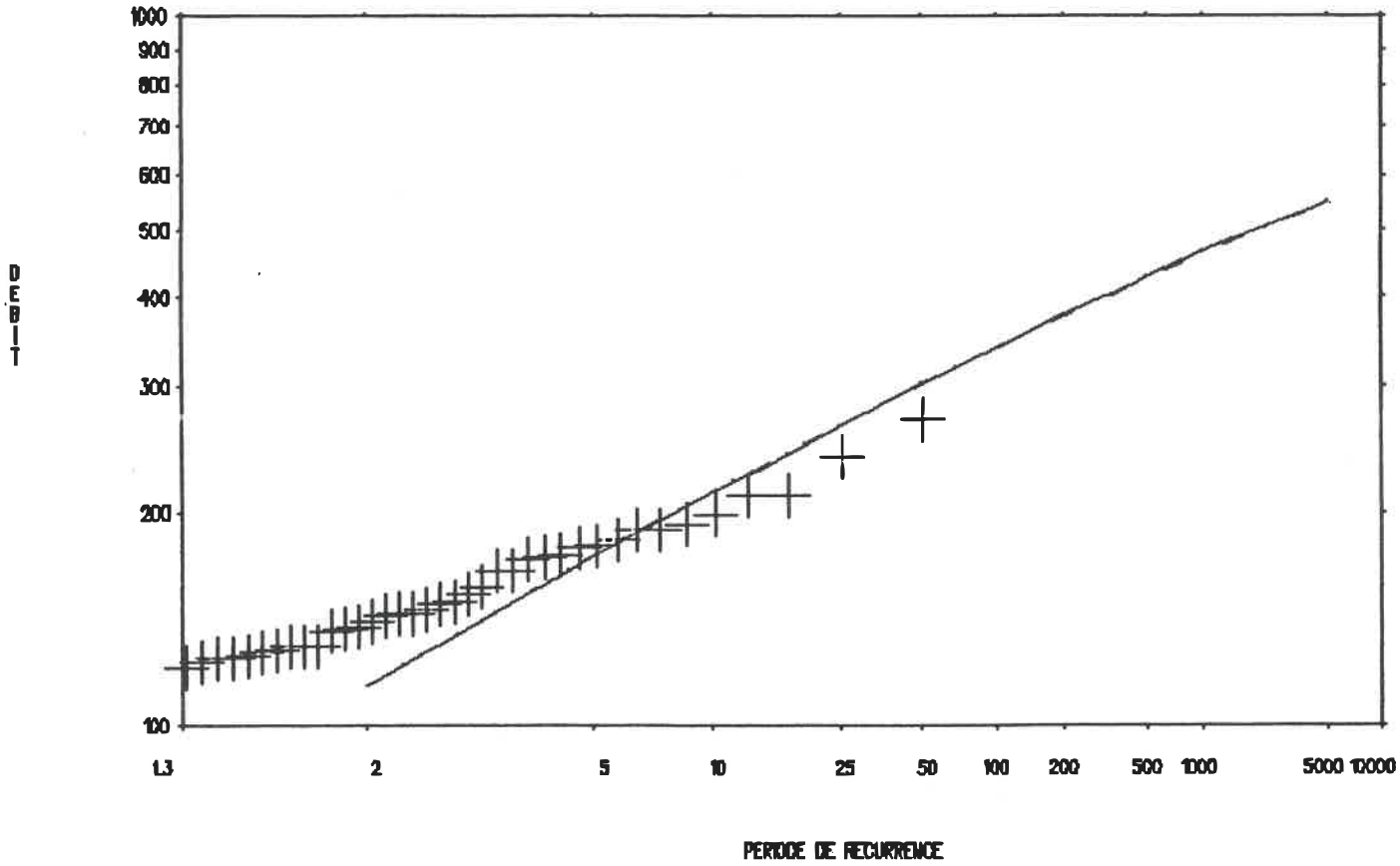
C7.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

C7.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C7 - Station 02NF003



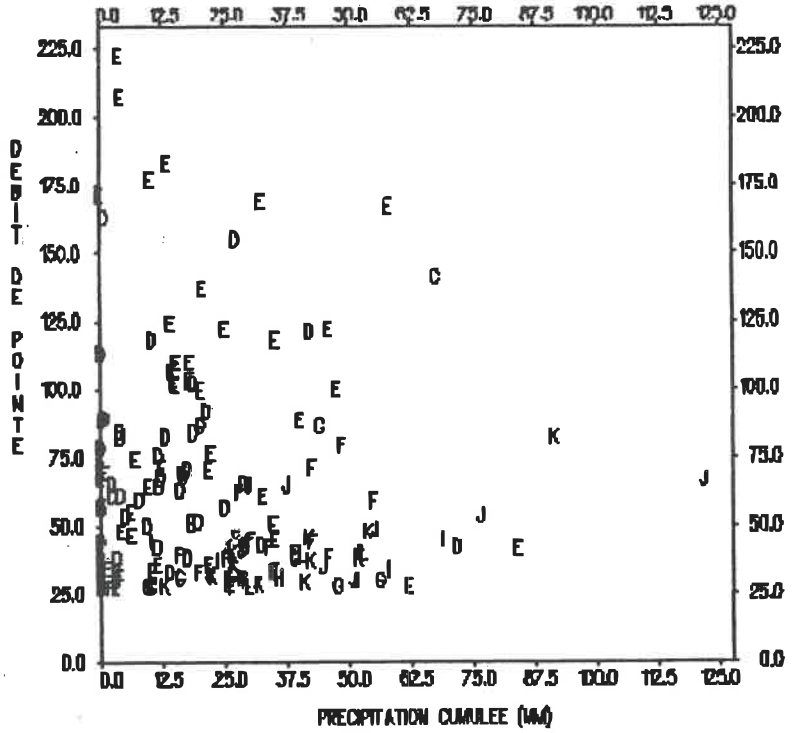
C7.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois

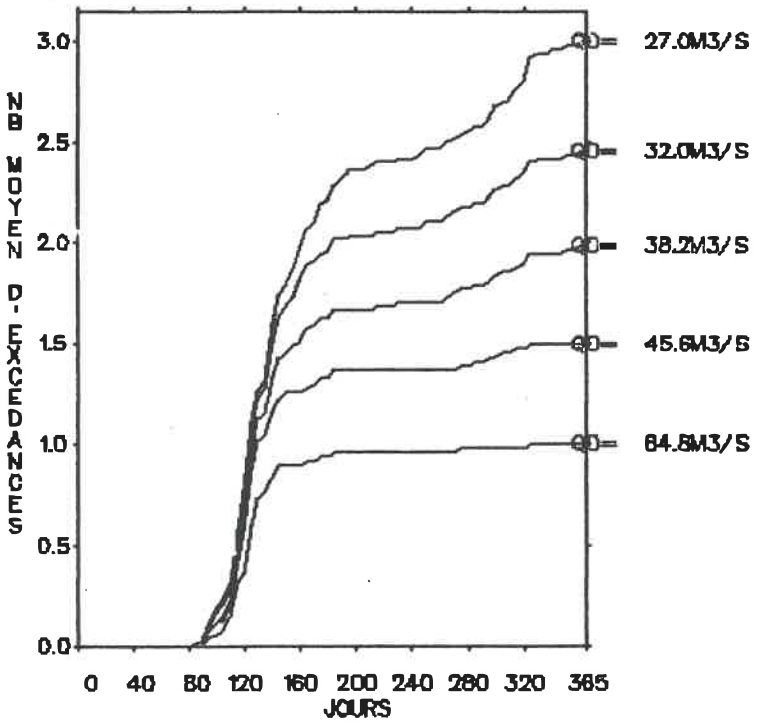


C7.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

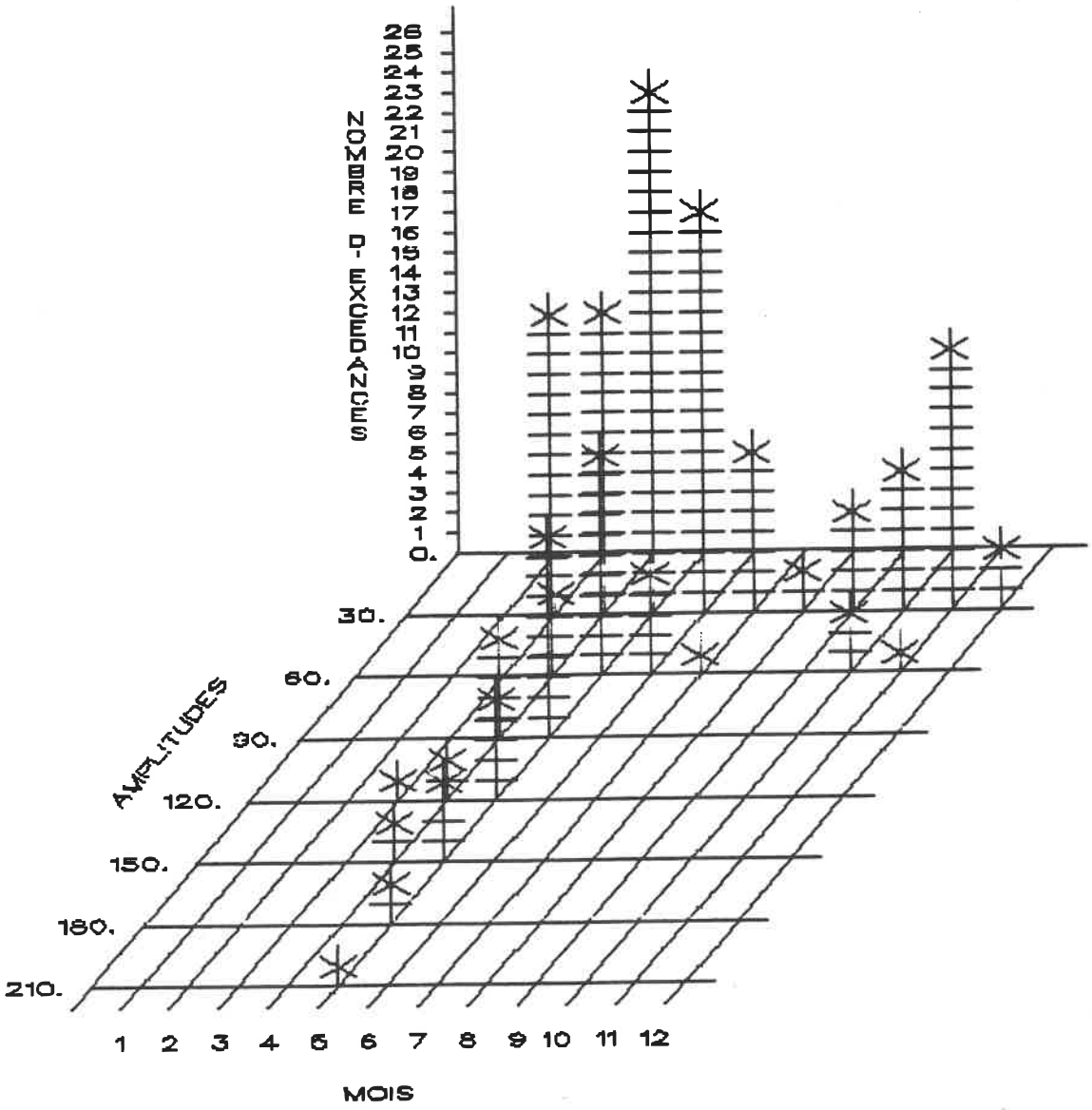




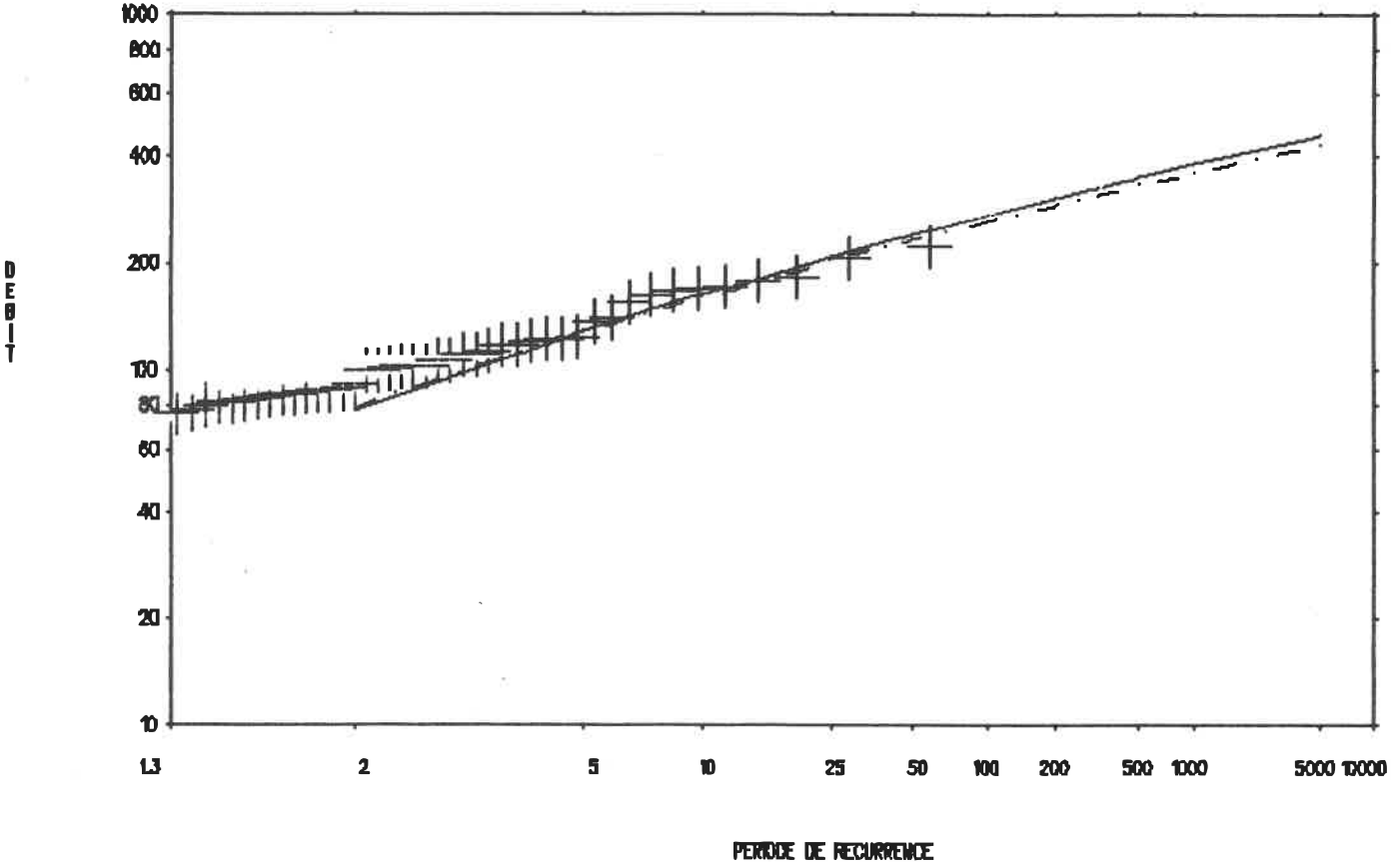
C8.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

C8.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C8 - Station 020B001



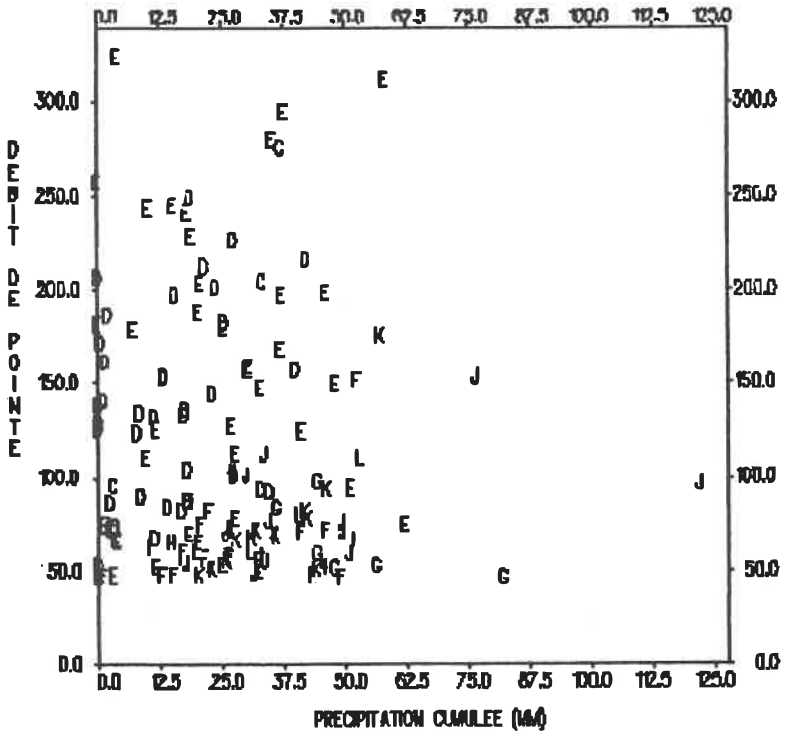
C8.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



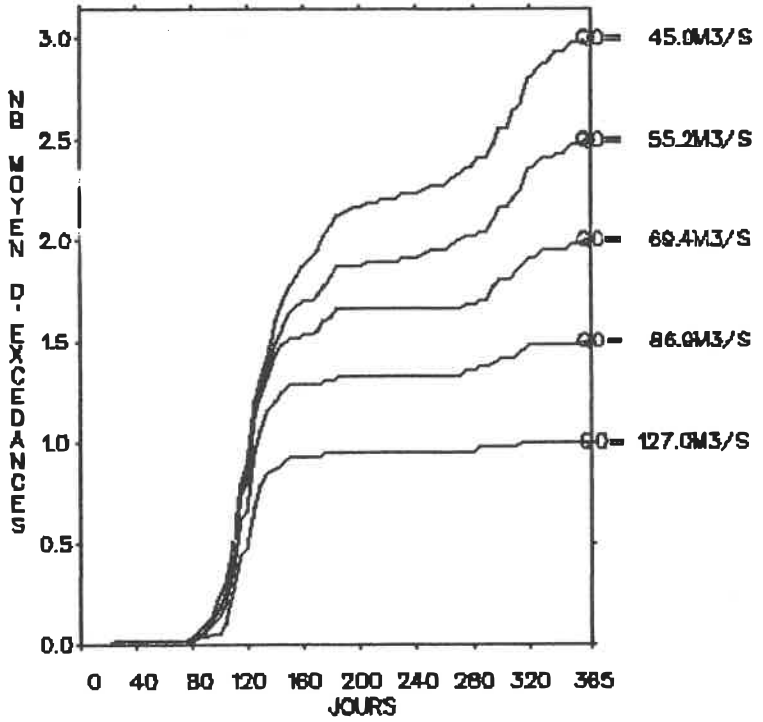
C8.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

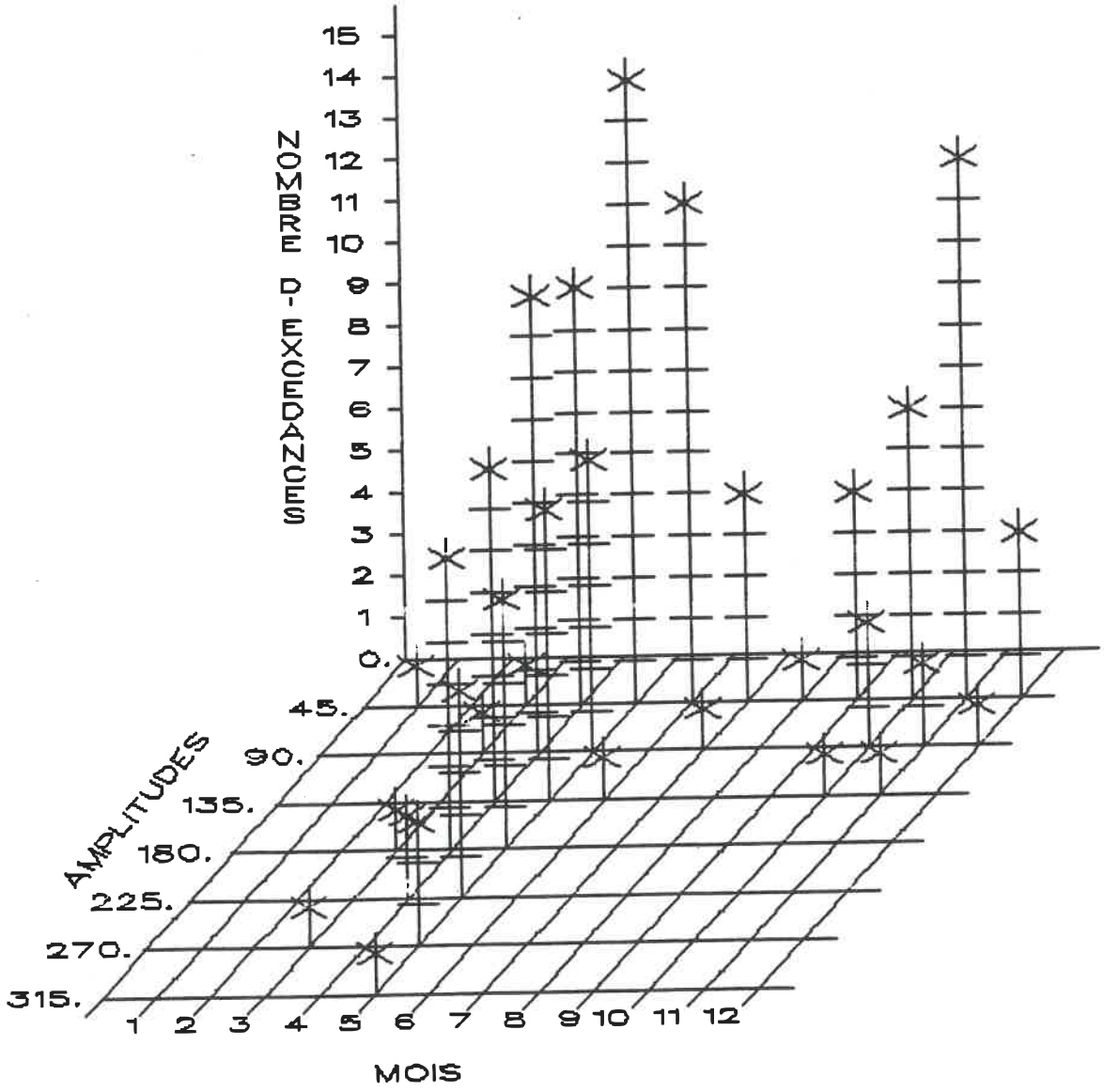


C9.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

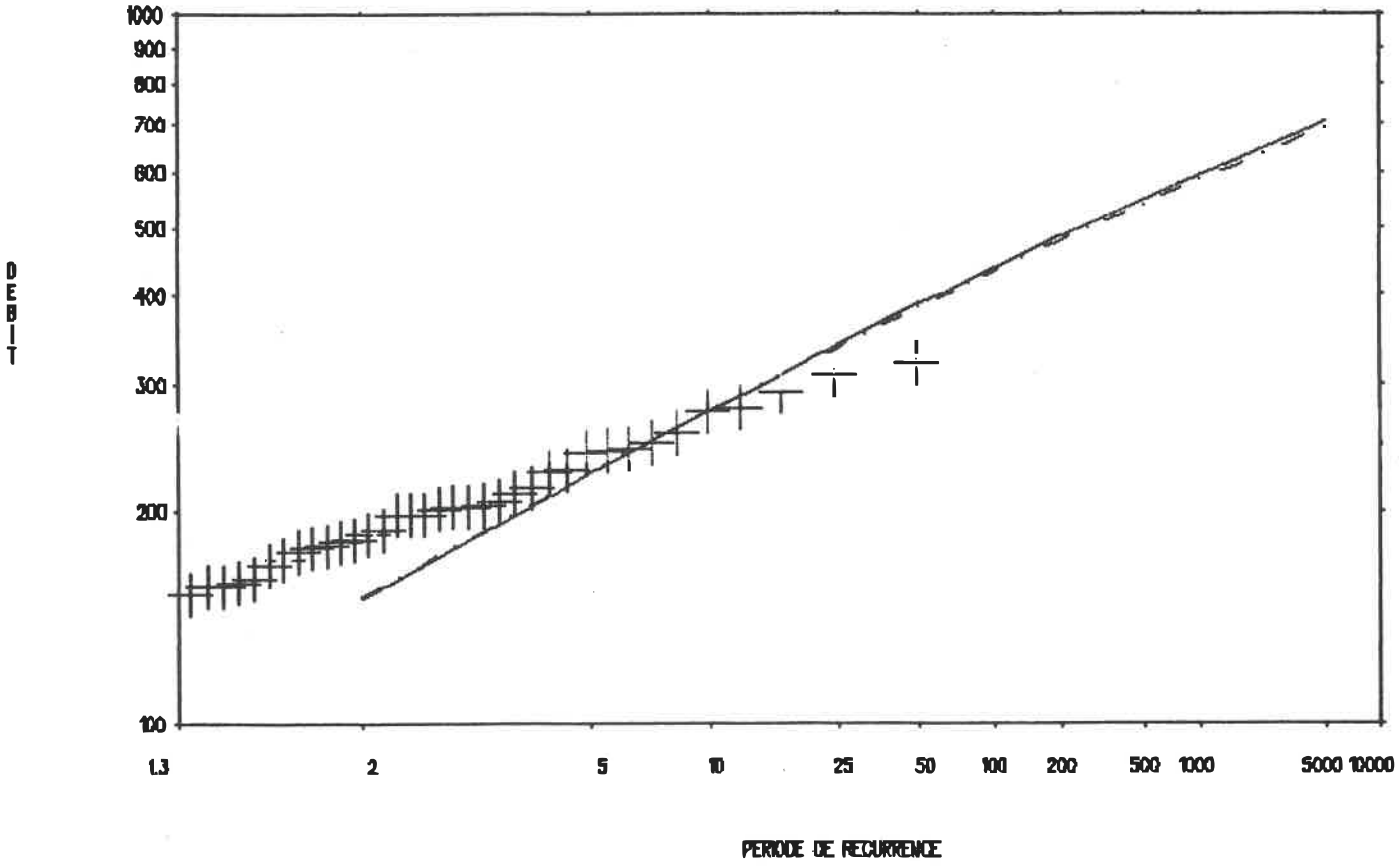


C9.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C9 - Stations 020B002 + 020B007



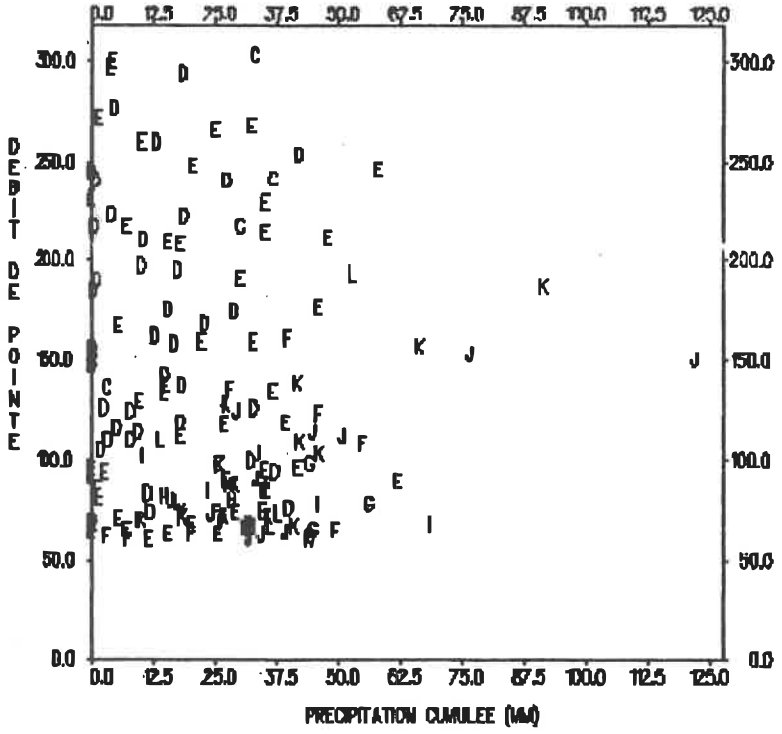
C9.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



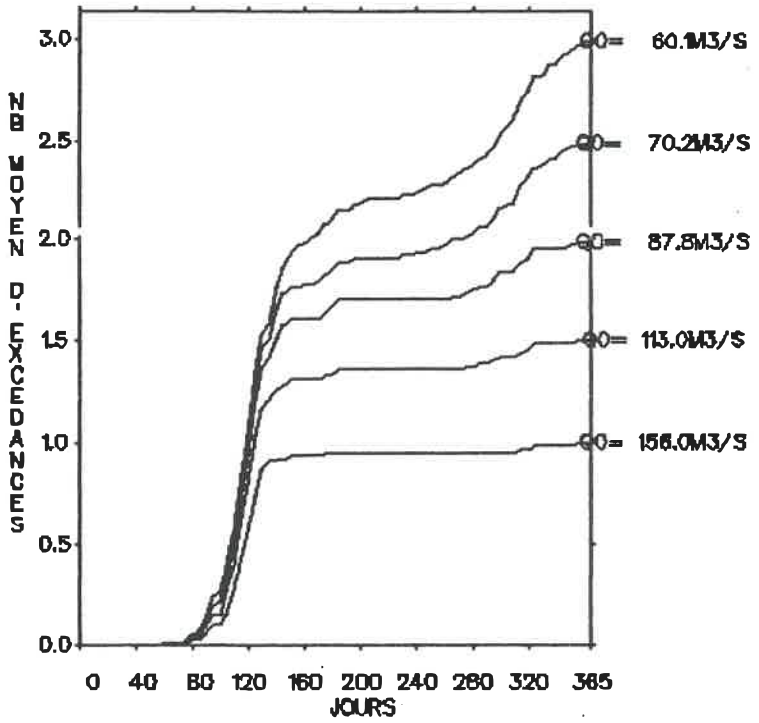
C9.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

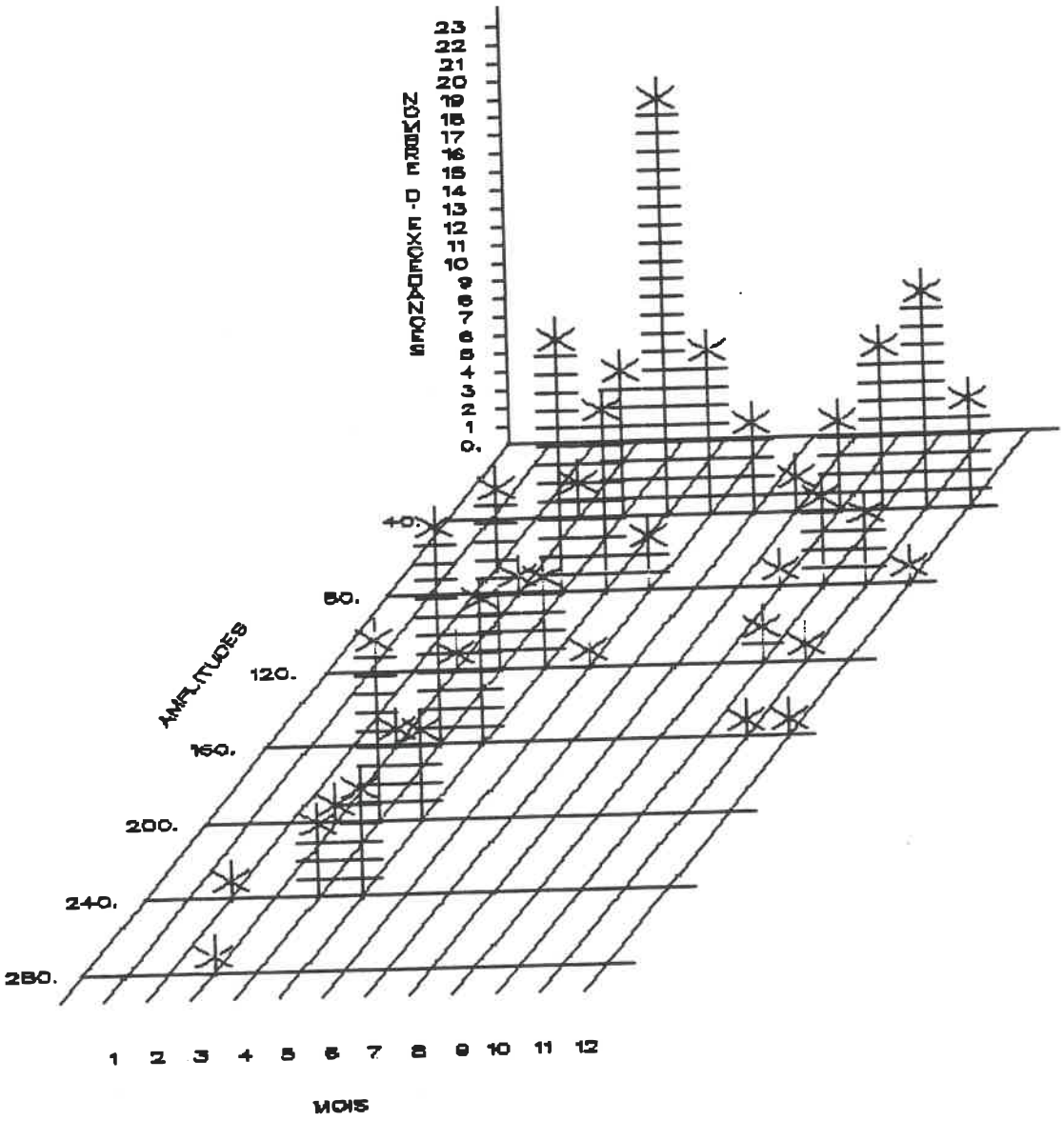


C10.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

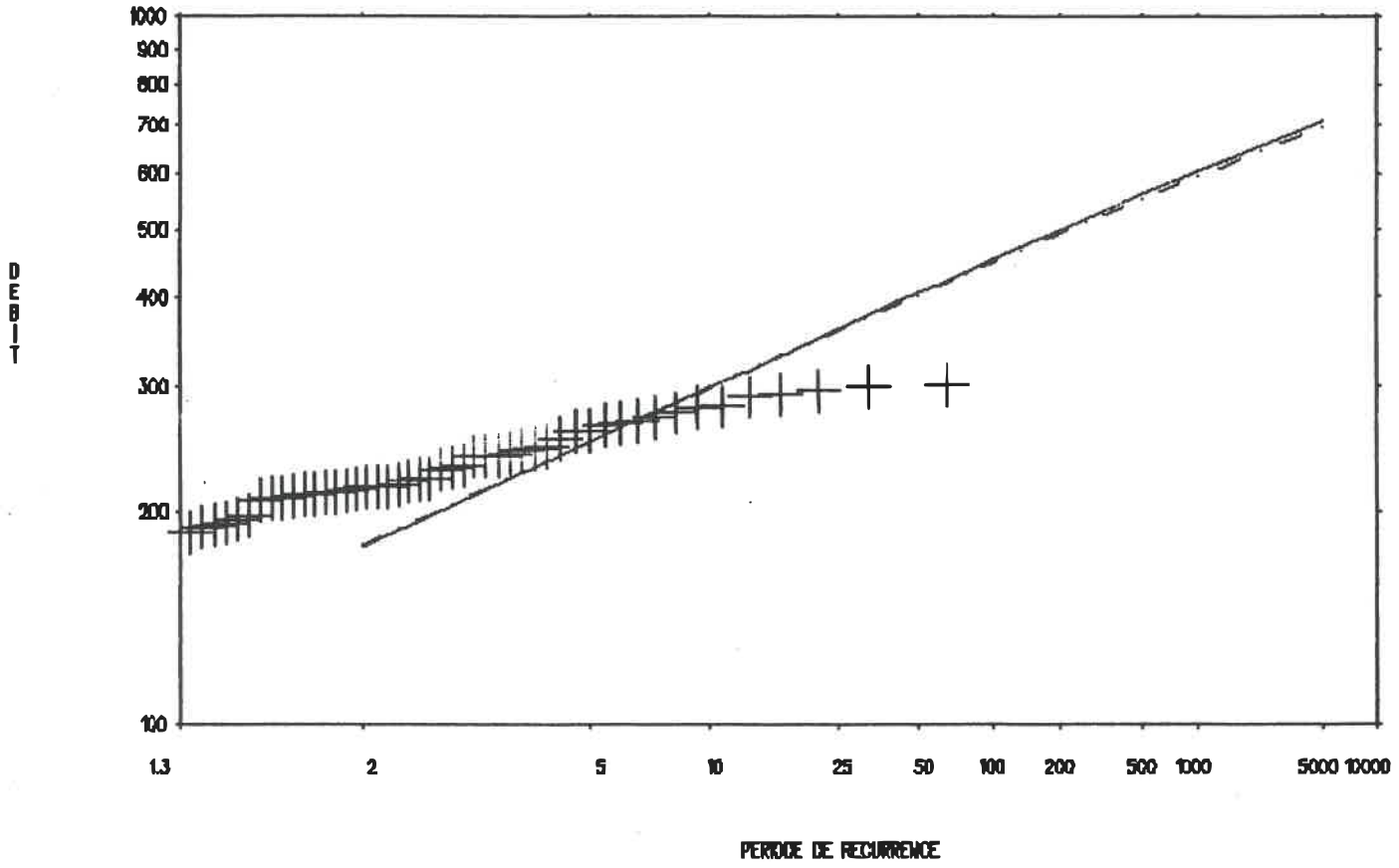


C10.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C10 - Stations 020B003 + 020B017



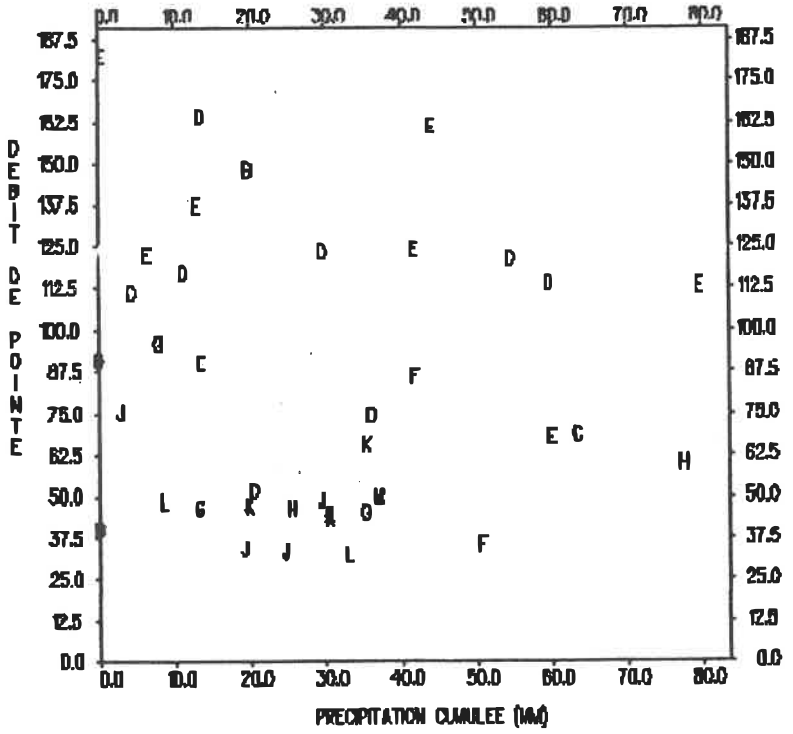
C10.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois

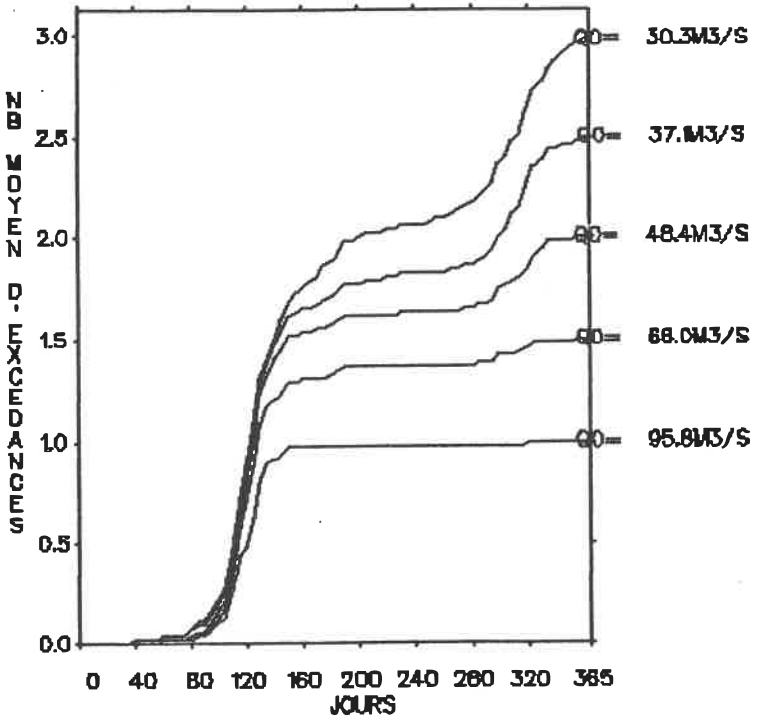


C10.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

—— découpage en périodes homogènes

—·— analyse annuelle

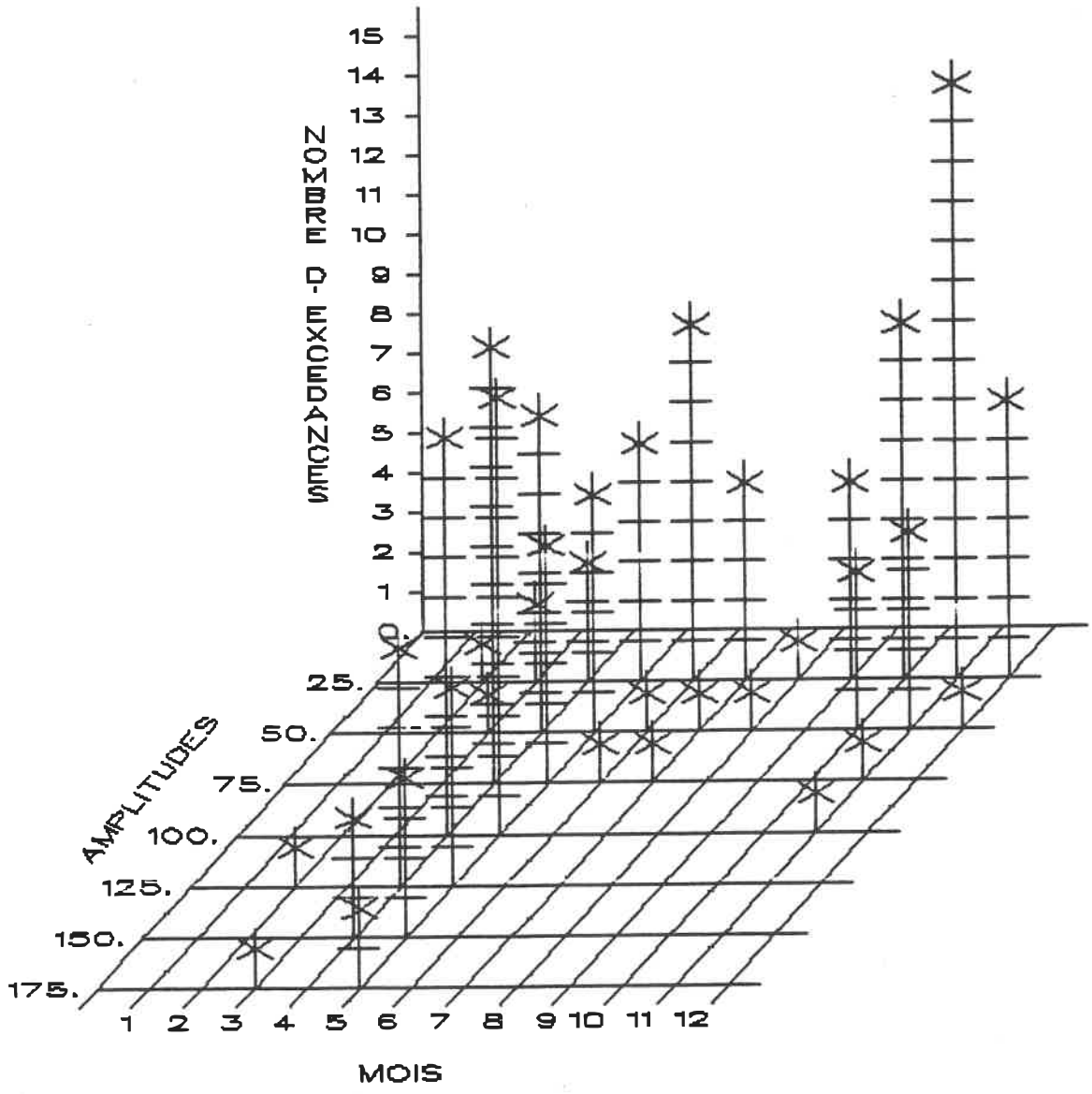




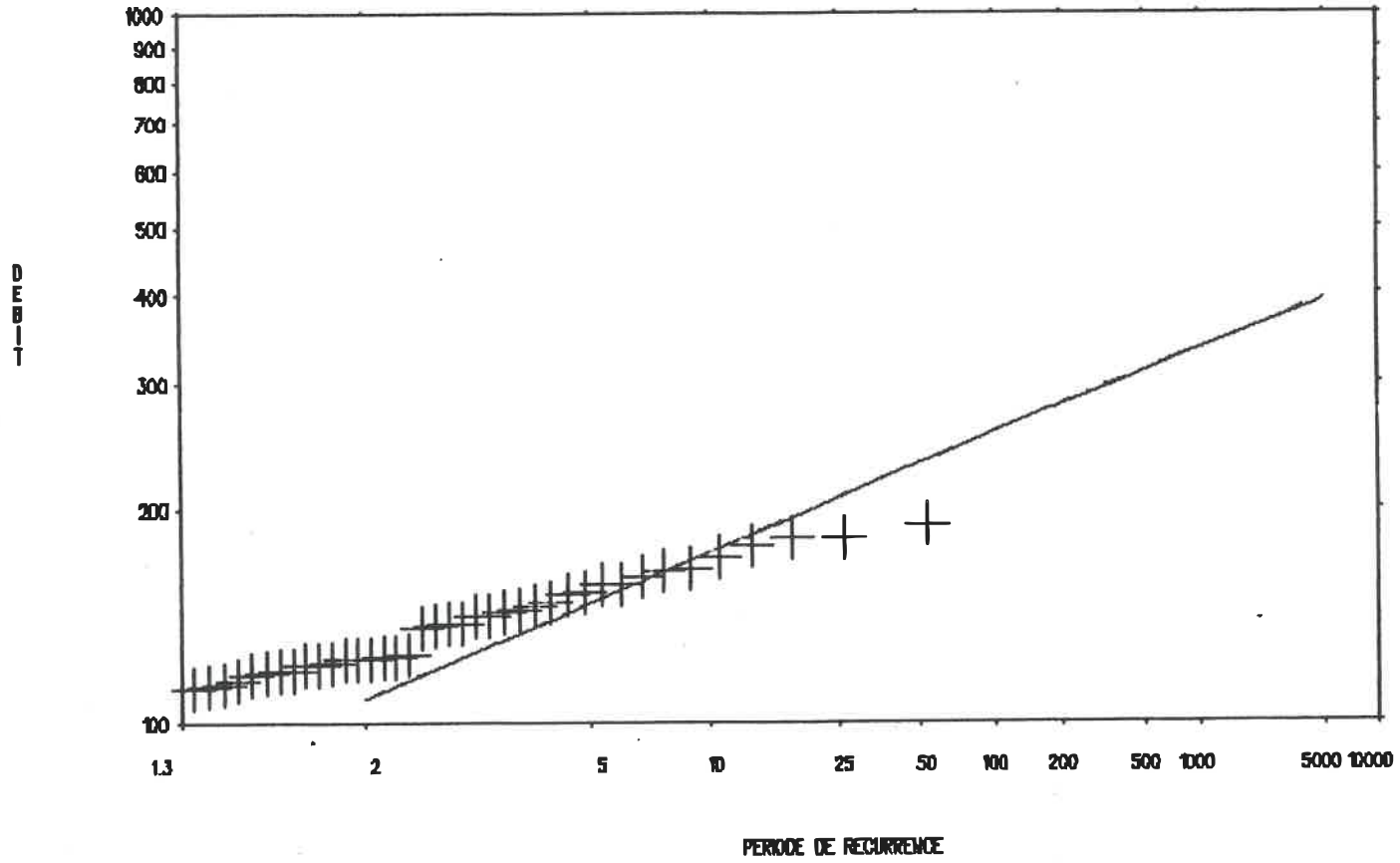
C11.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

C11.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C11 - Station 020C002



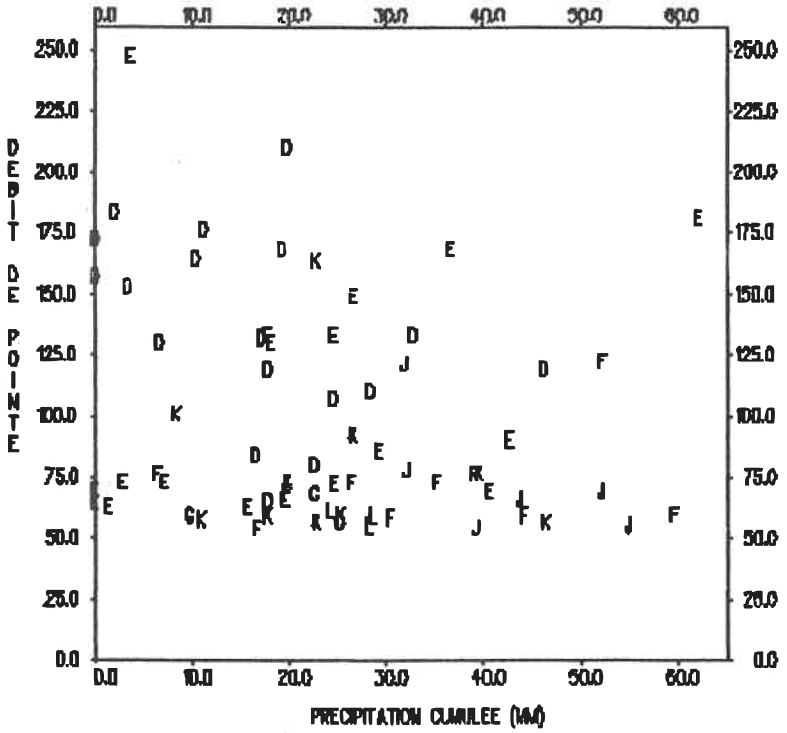
C11.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



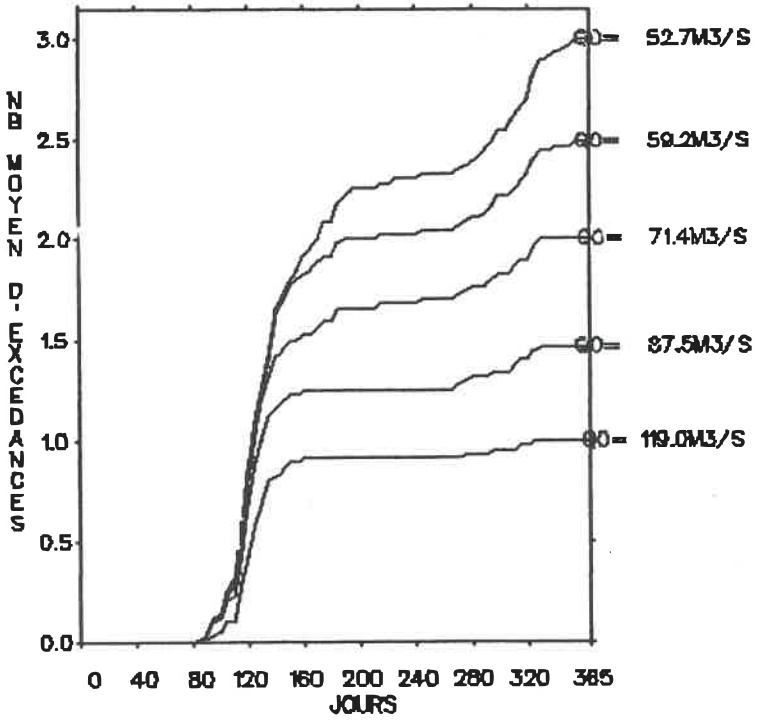
C11.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

– – analyse annuelle

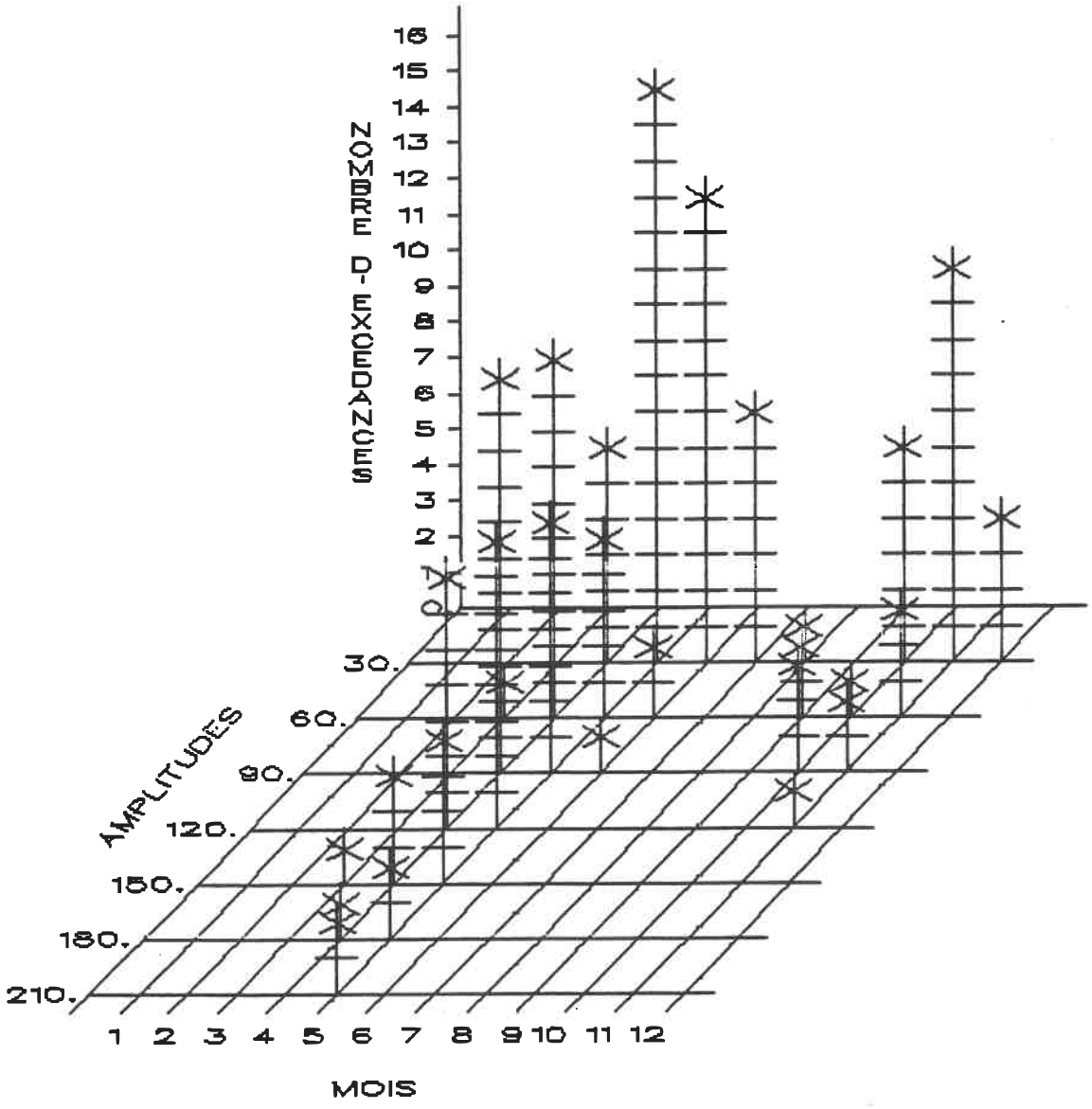


C12.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

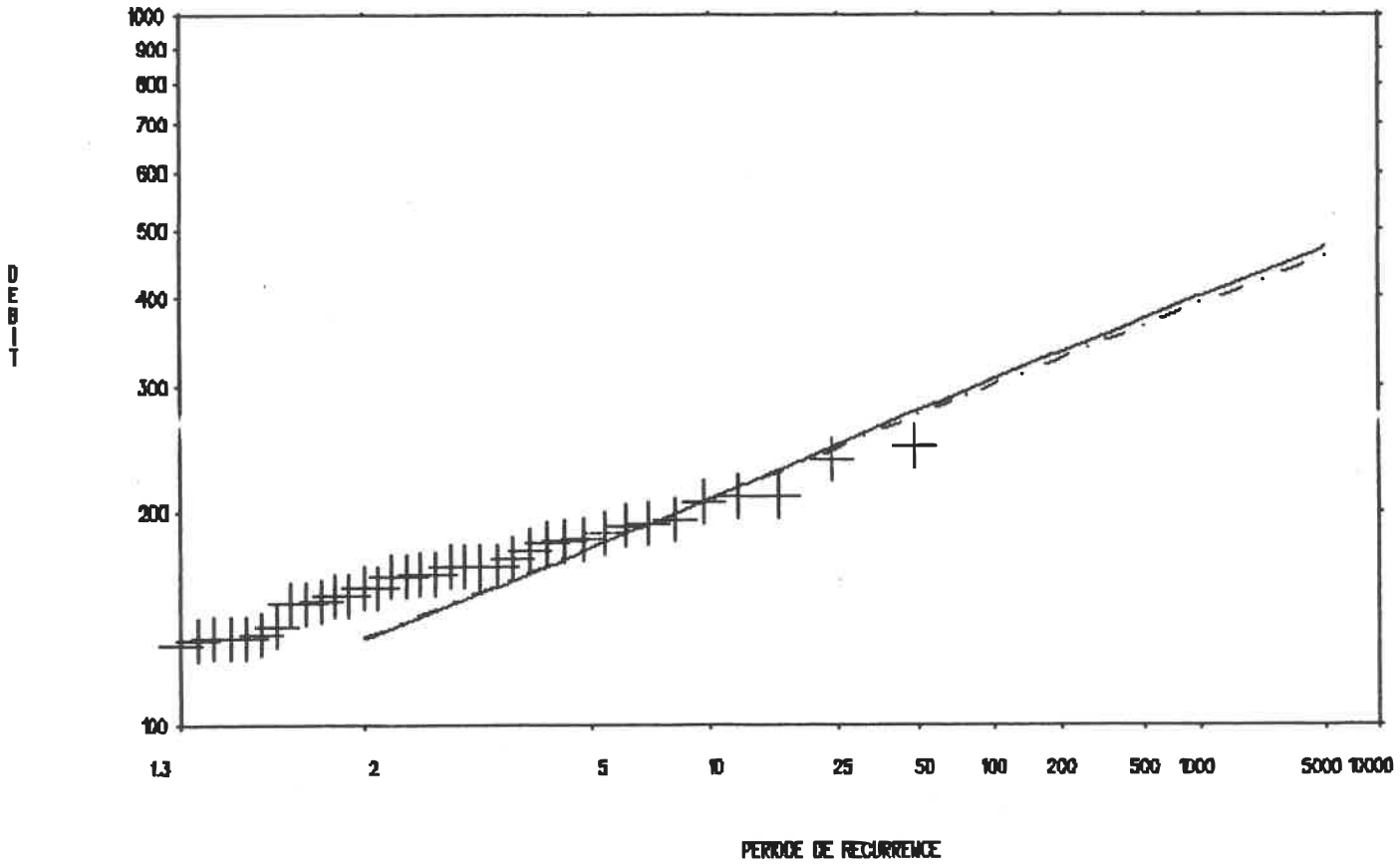


C12.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C12 - Stations 020C001 + 020C005



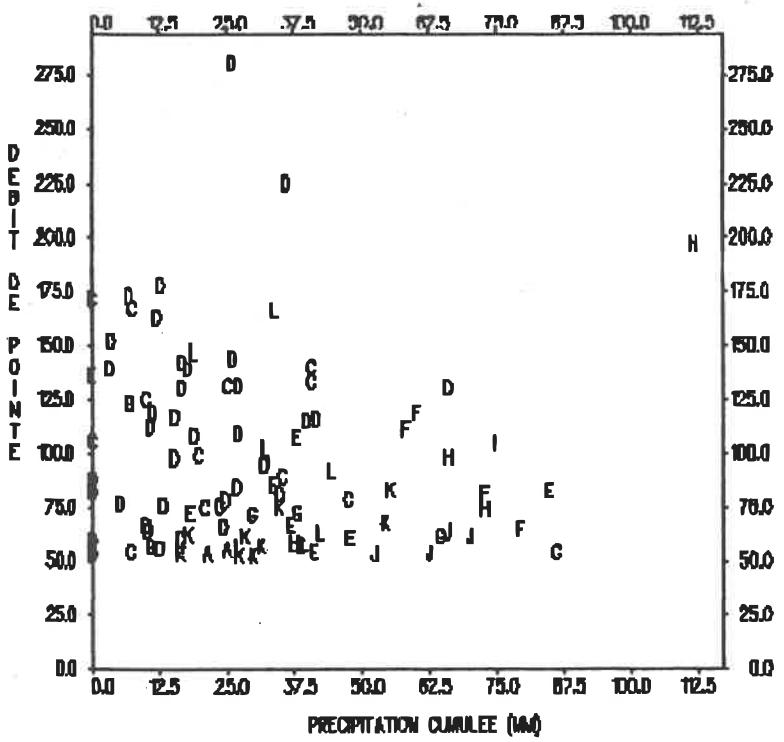
C12.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



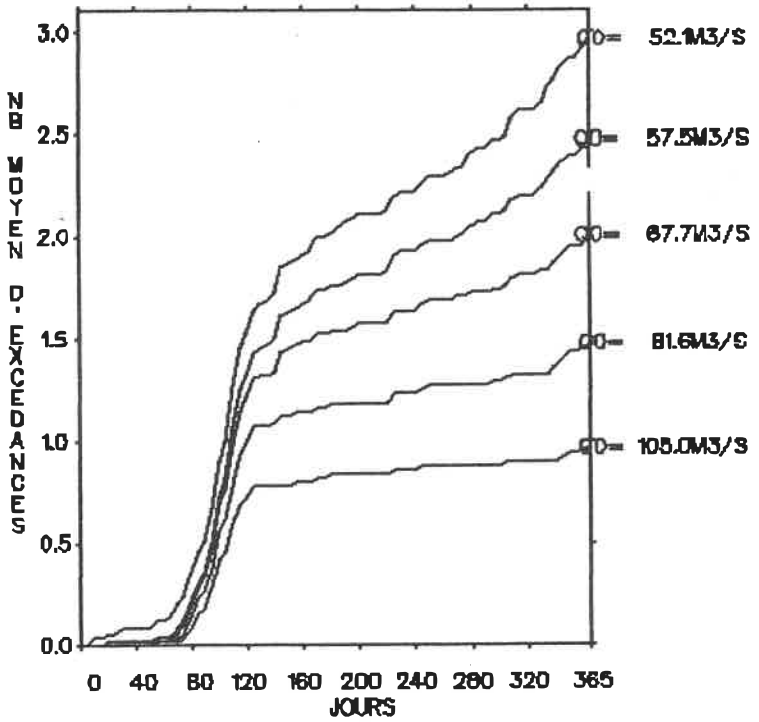
C12.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

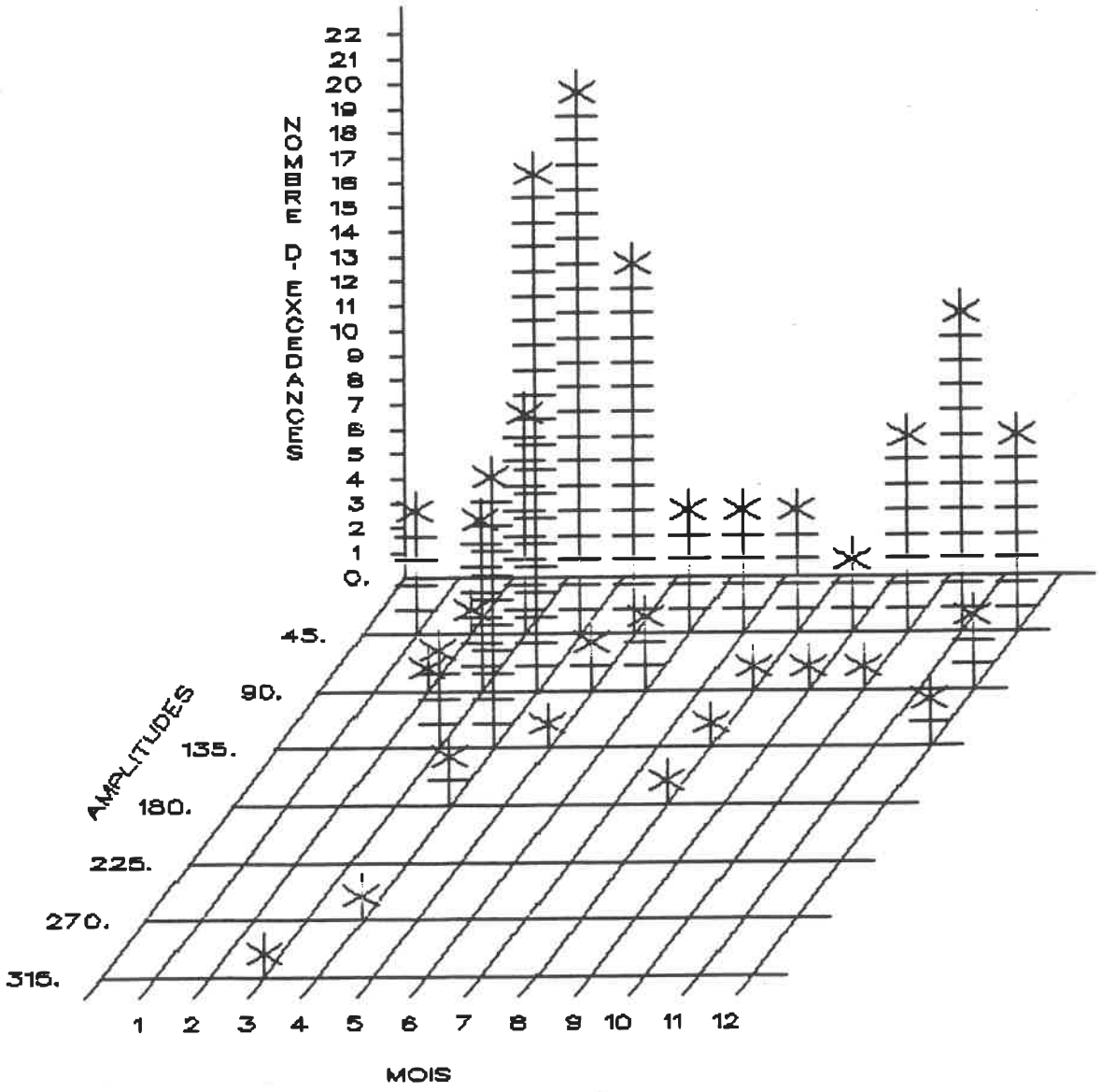


C13.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

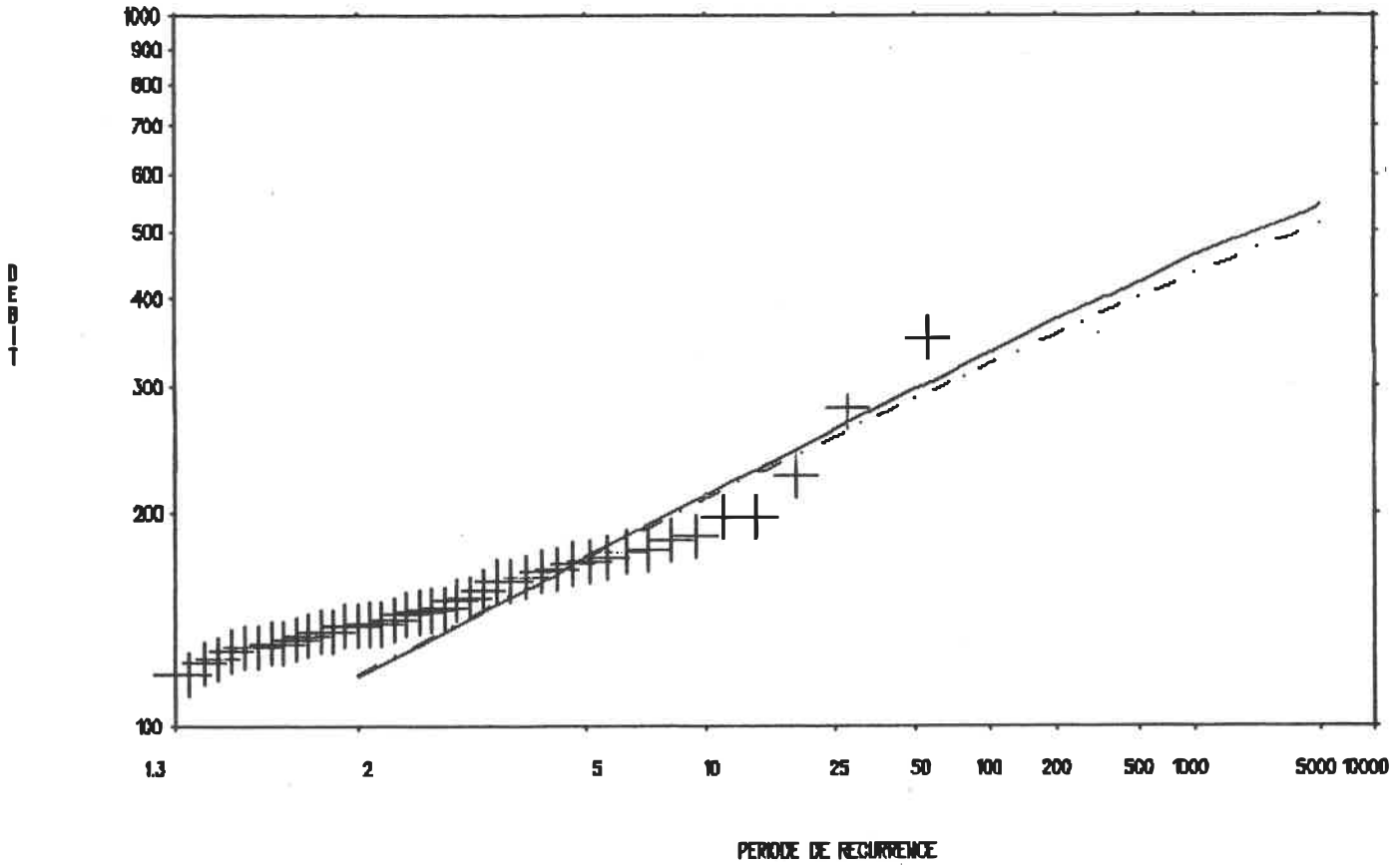


C13.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C13 - Station 020D001



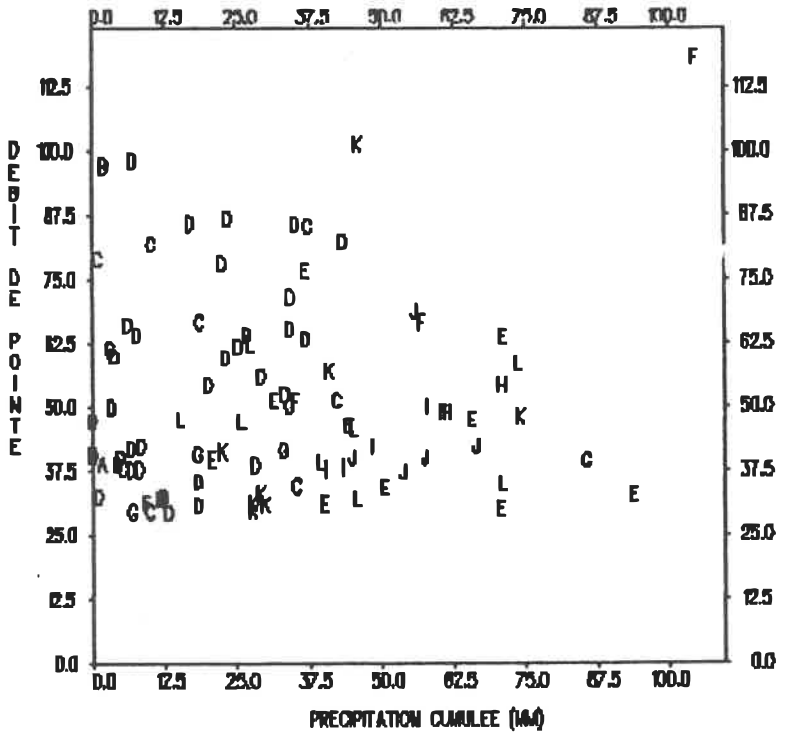
C13.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



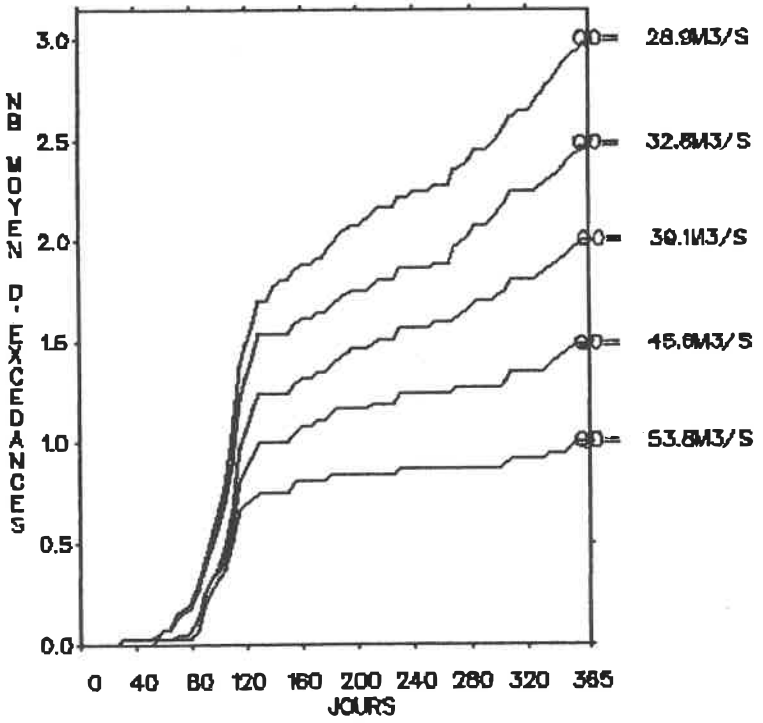
C13.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

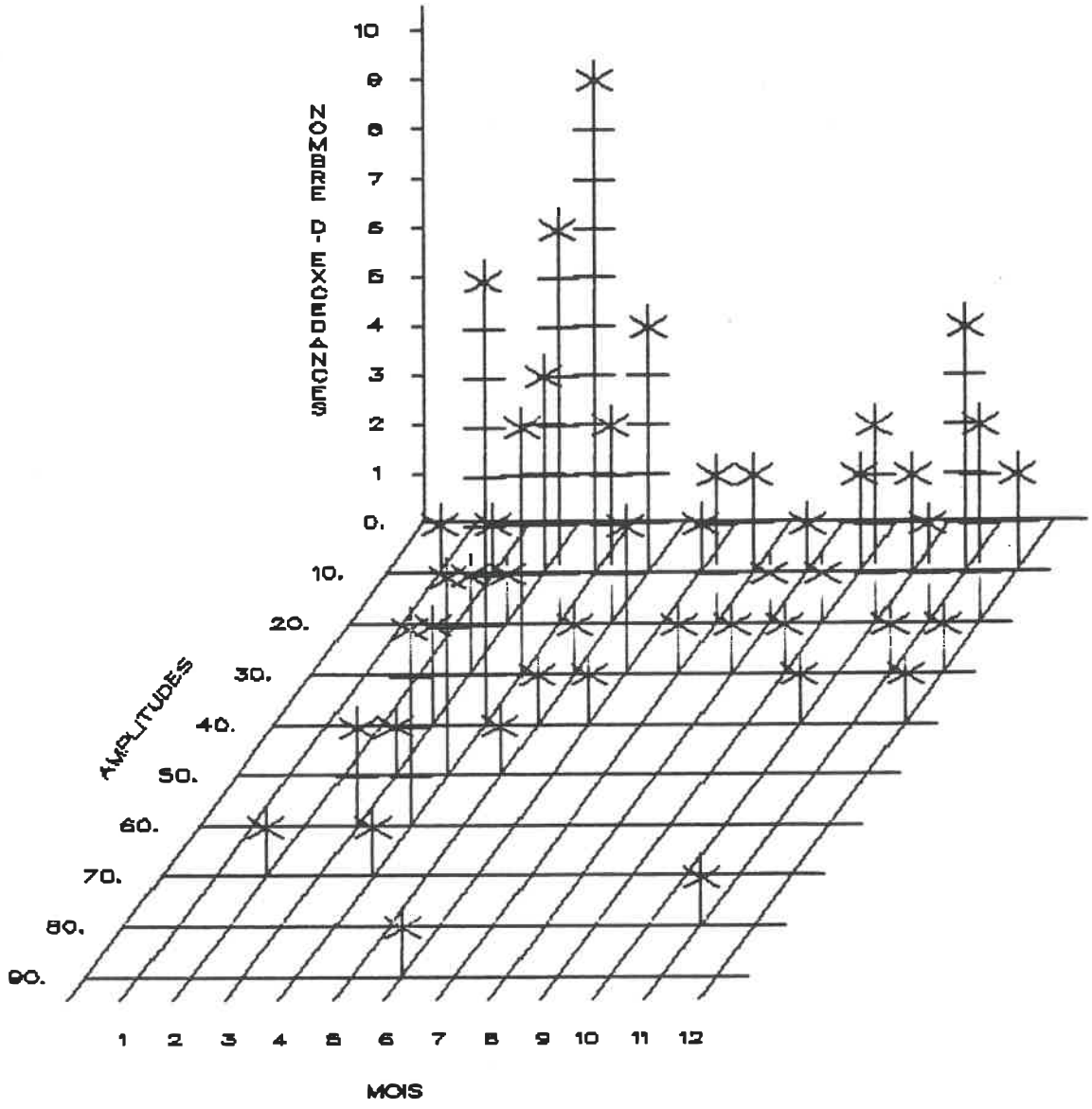


C14.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

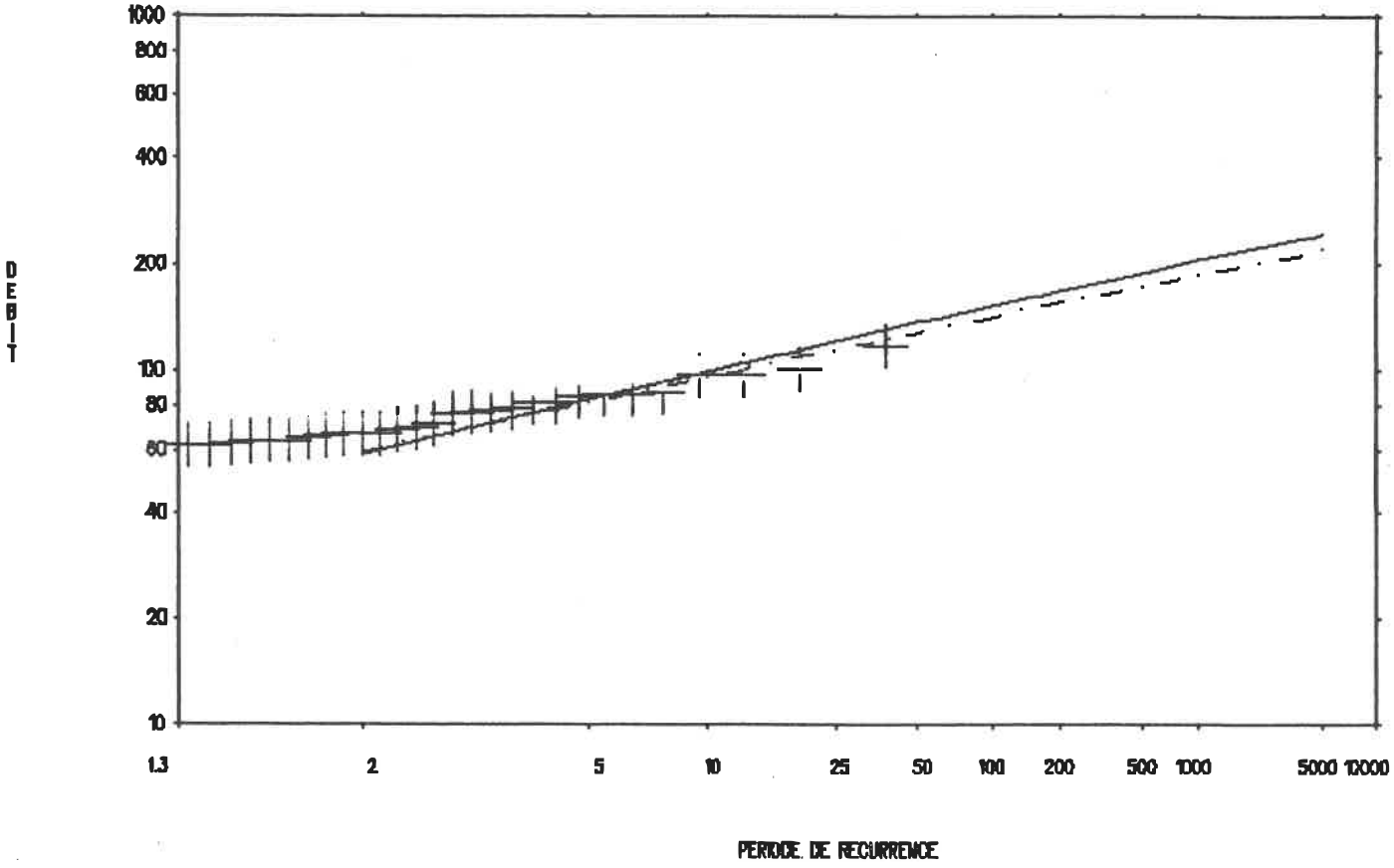


C14.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C14 - Station 020E018



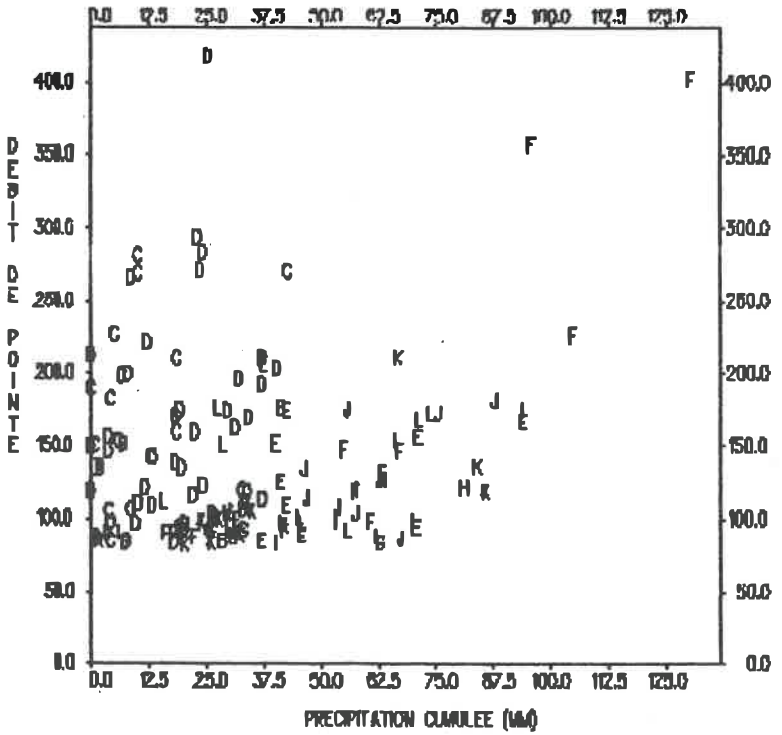
C14.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



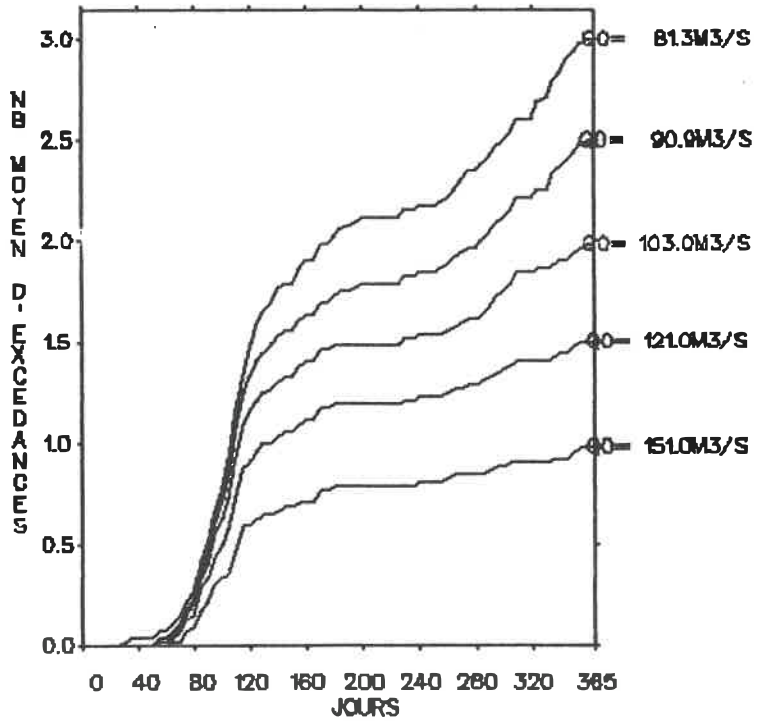
C14.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

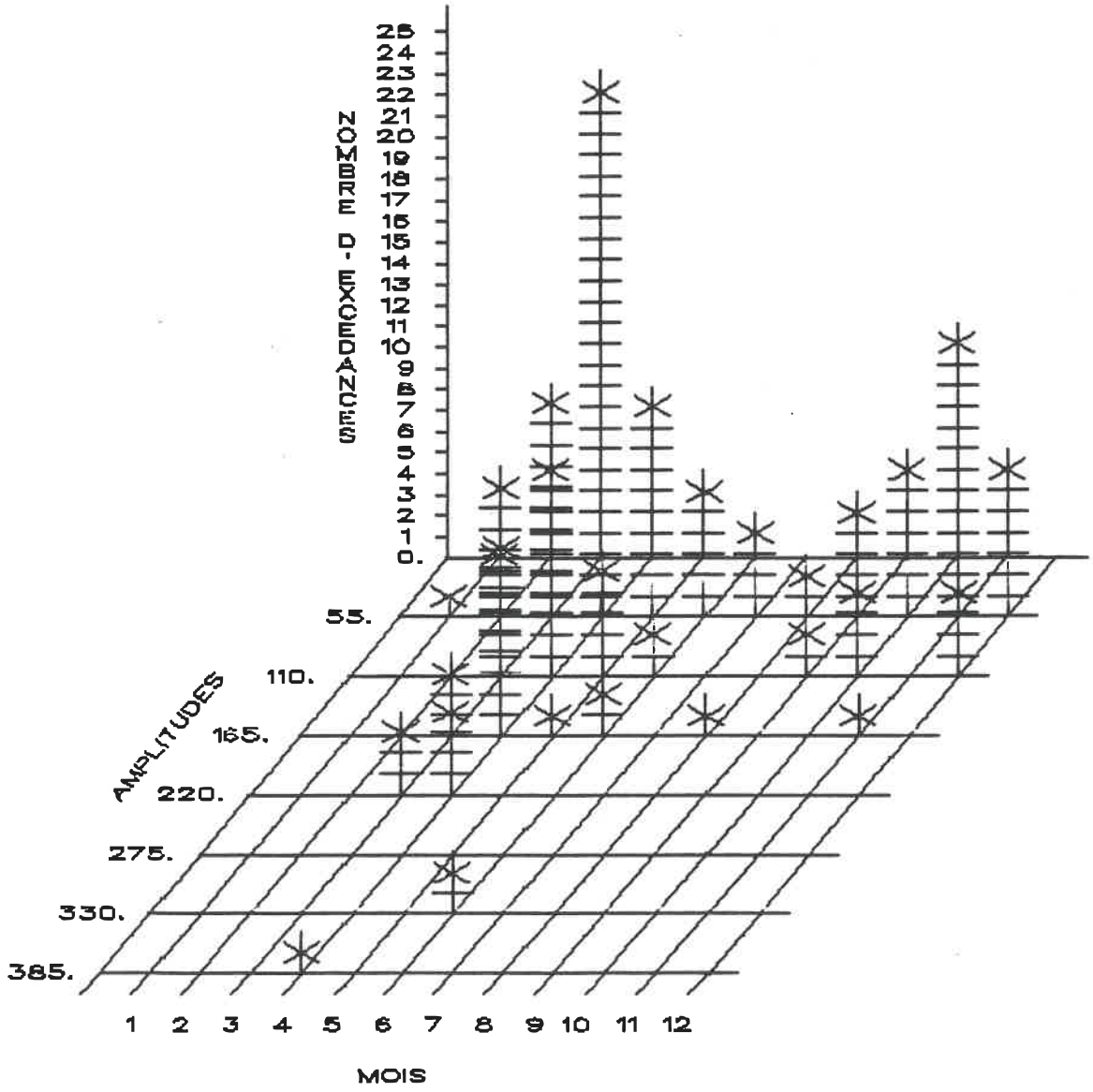


C15.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

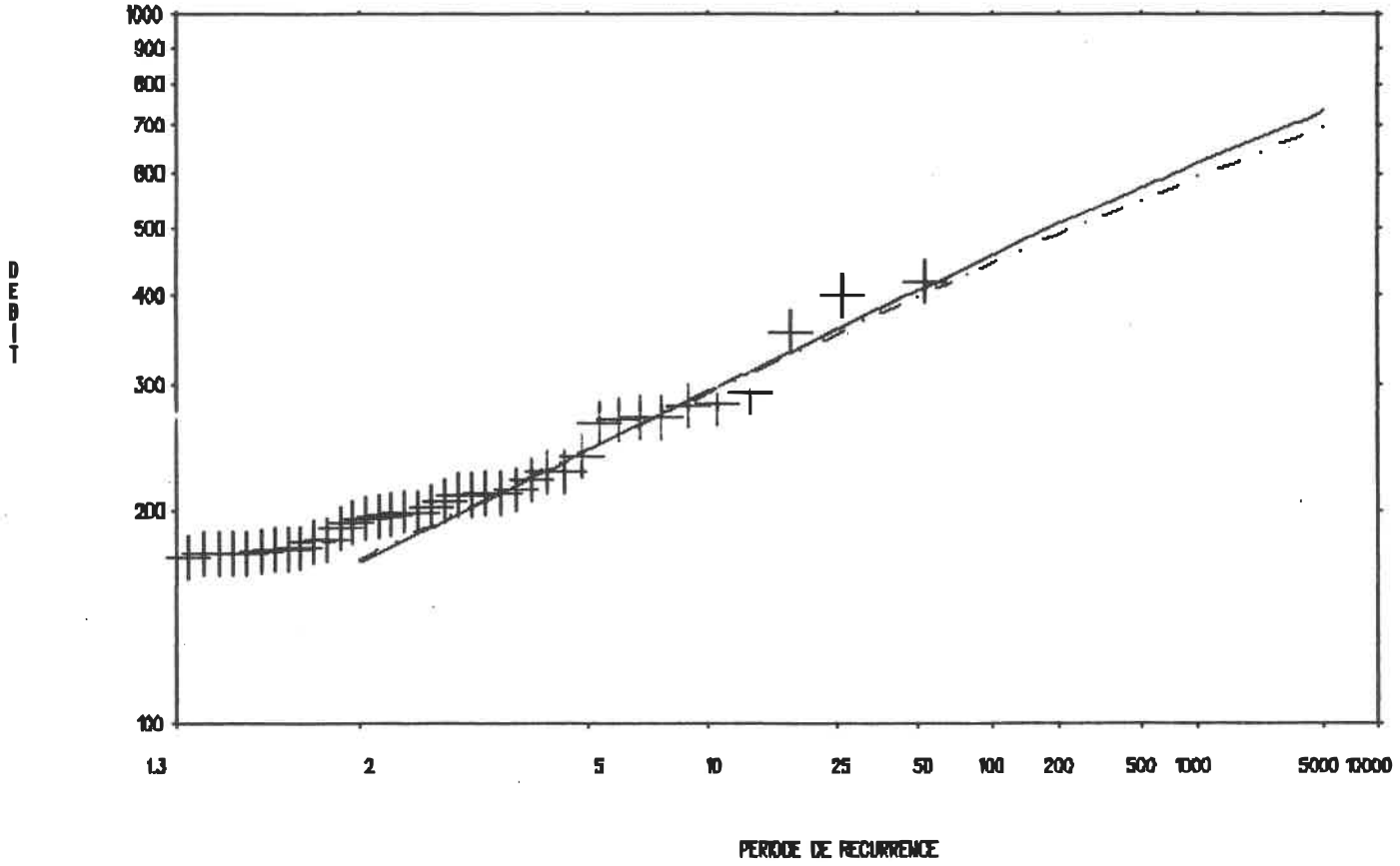


C15.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C15 - Stations 020E026 + 020E013 + 020E027



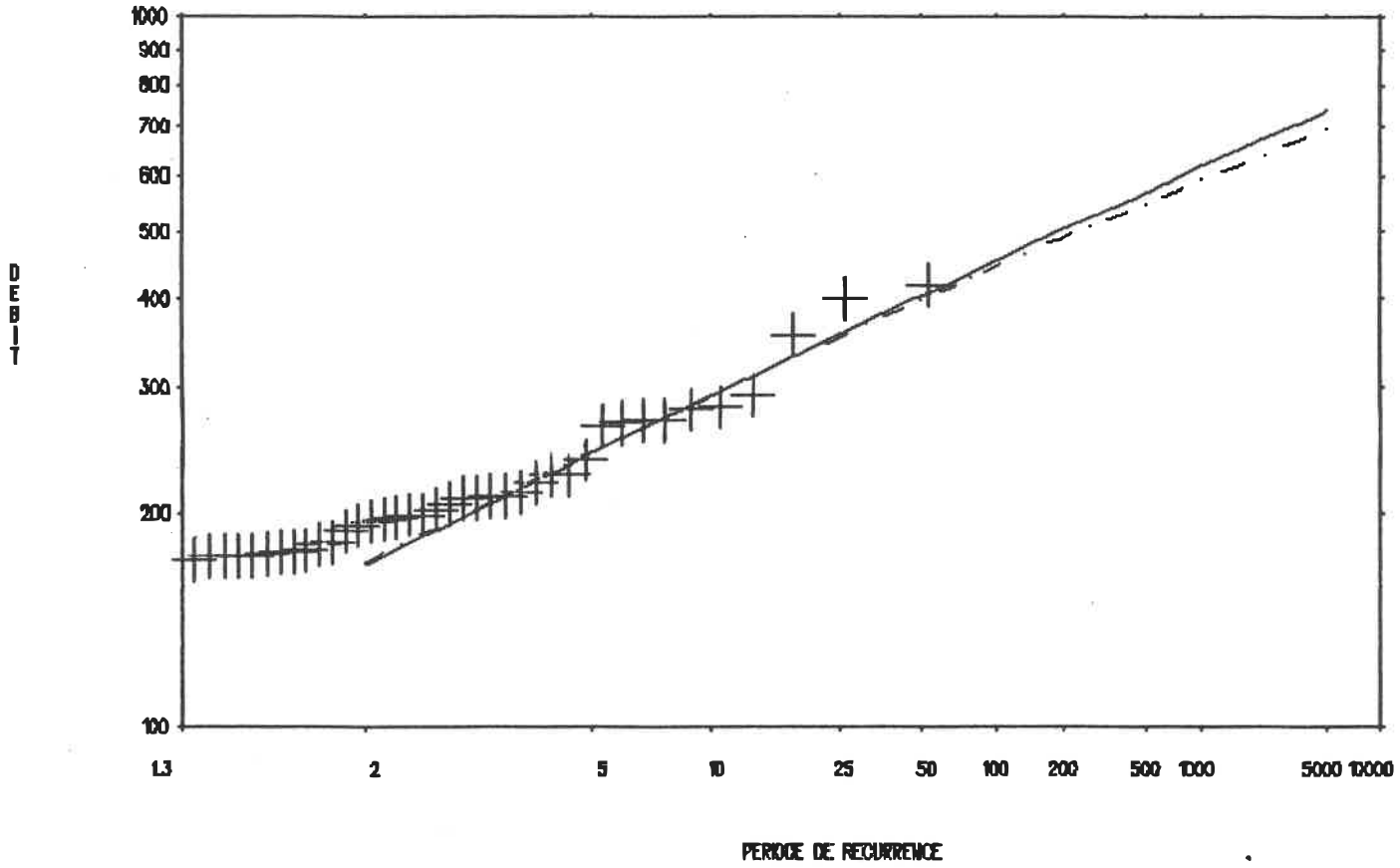
C15.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



C15.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

—— découpage en périodes homogènes

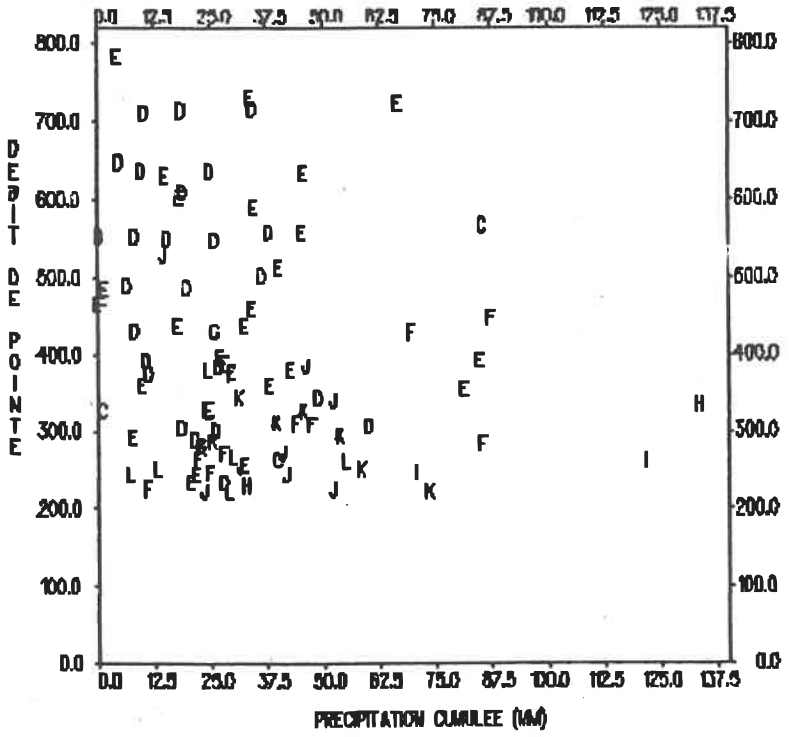
—·—· analyse annuelle



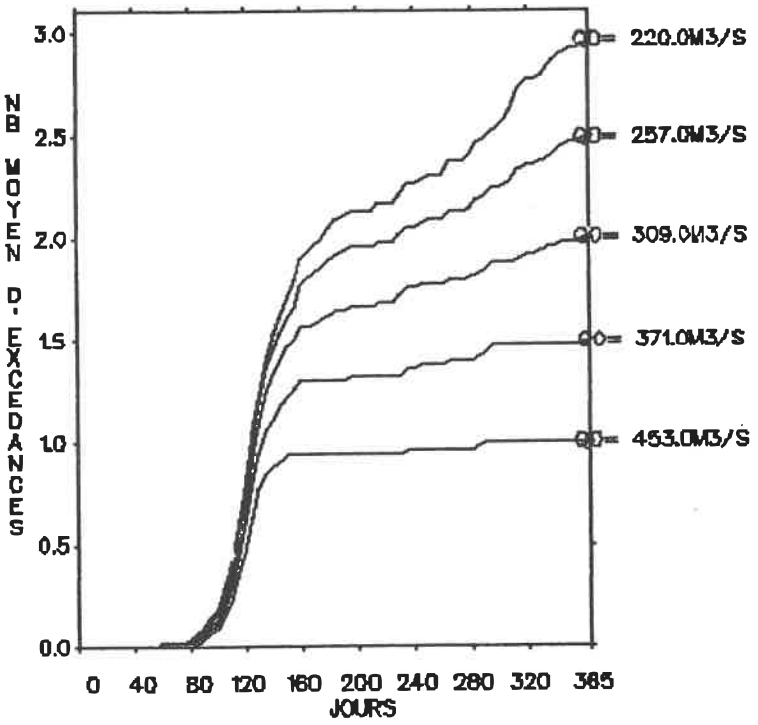
C15.e - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

—— découpage selon les phénomènes générateurs

– – analyse annuelle

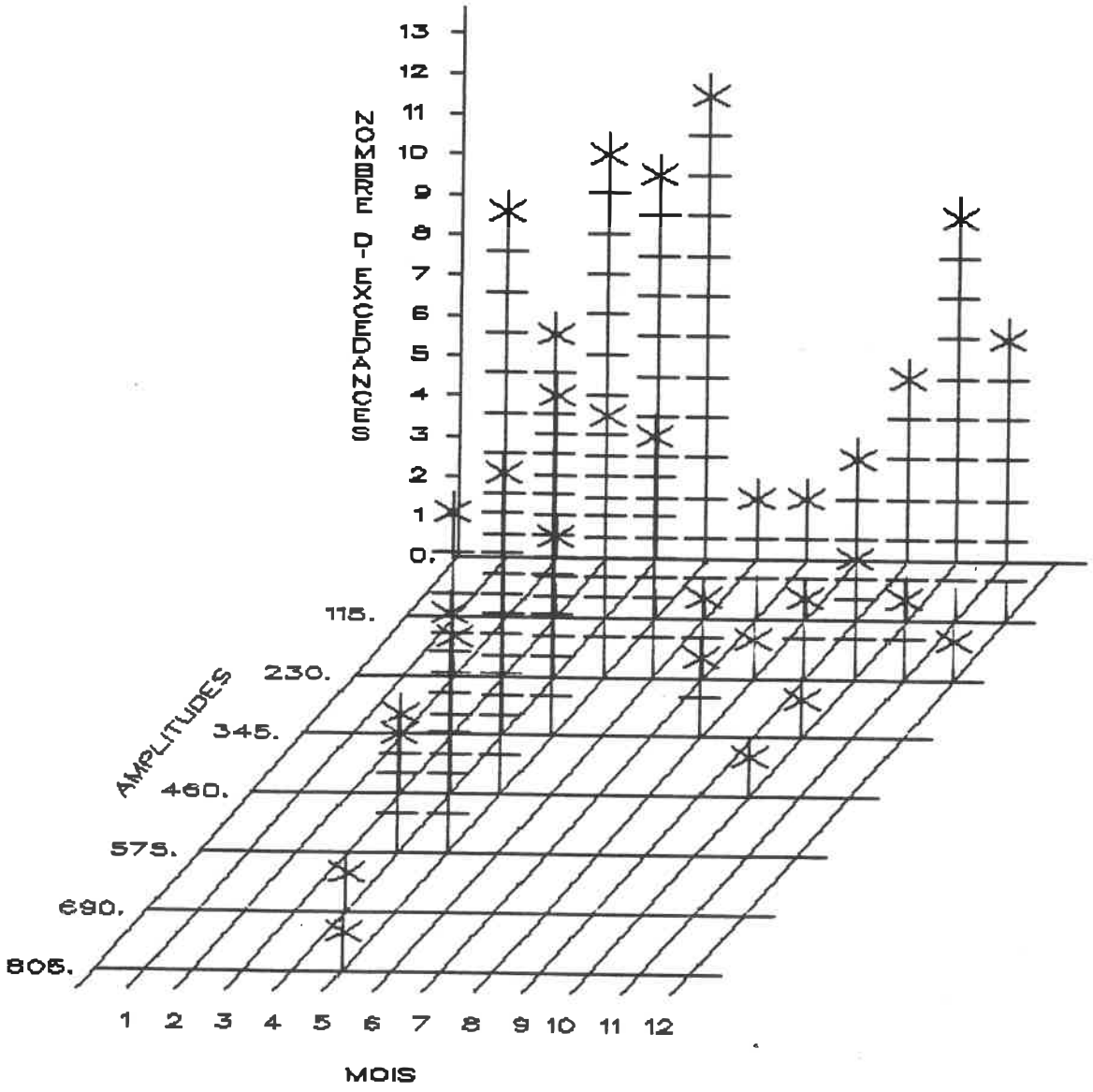


C16.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

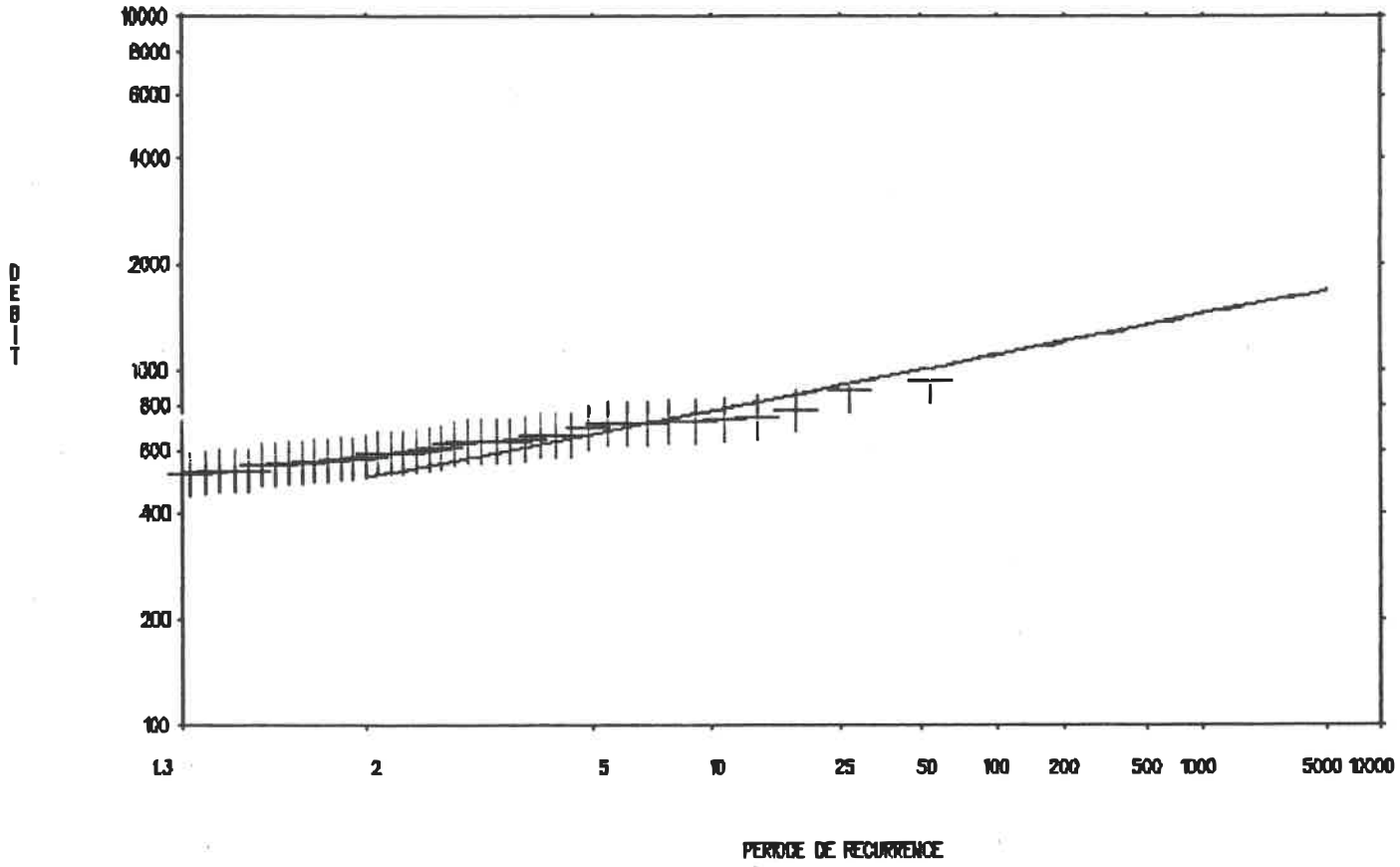


C16.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C16 - Station 02PA003



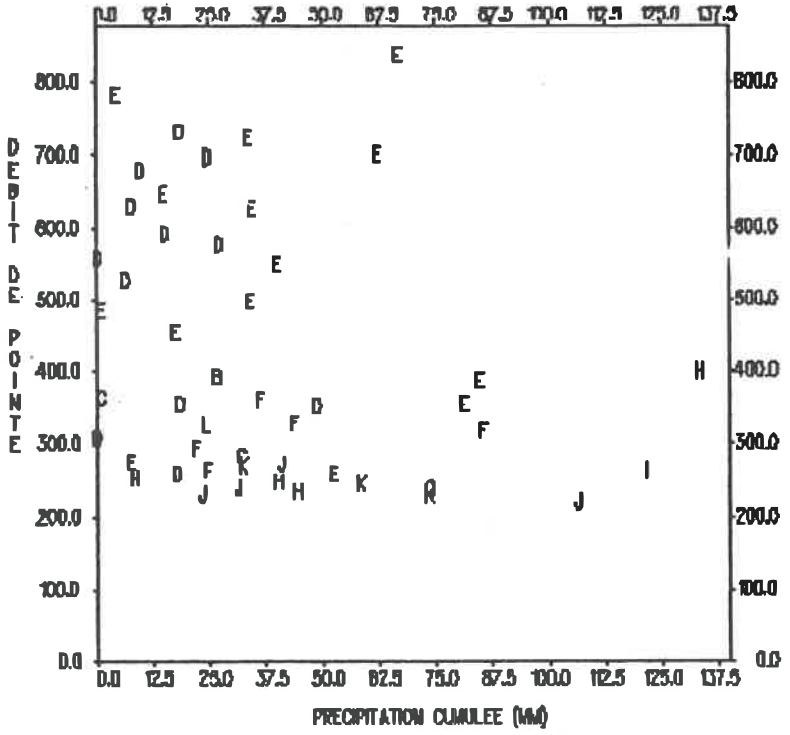
C16.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



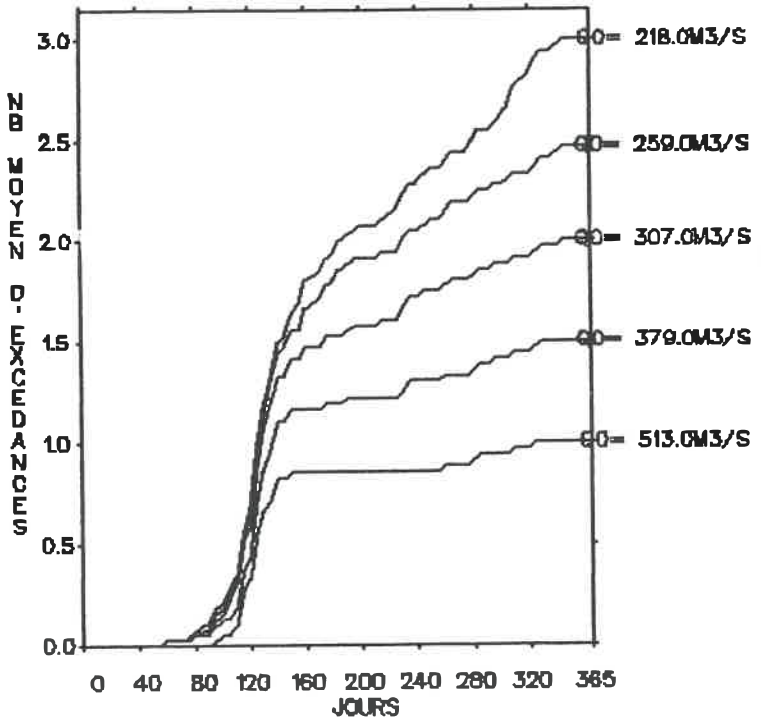
C16.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

—— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

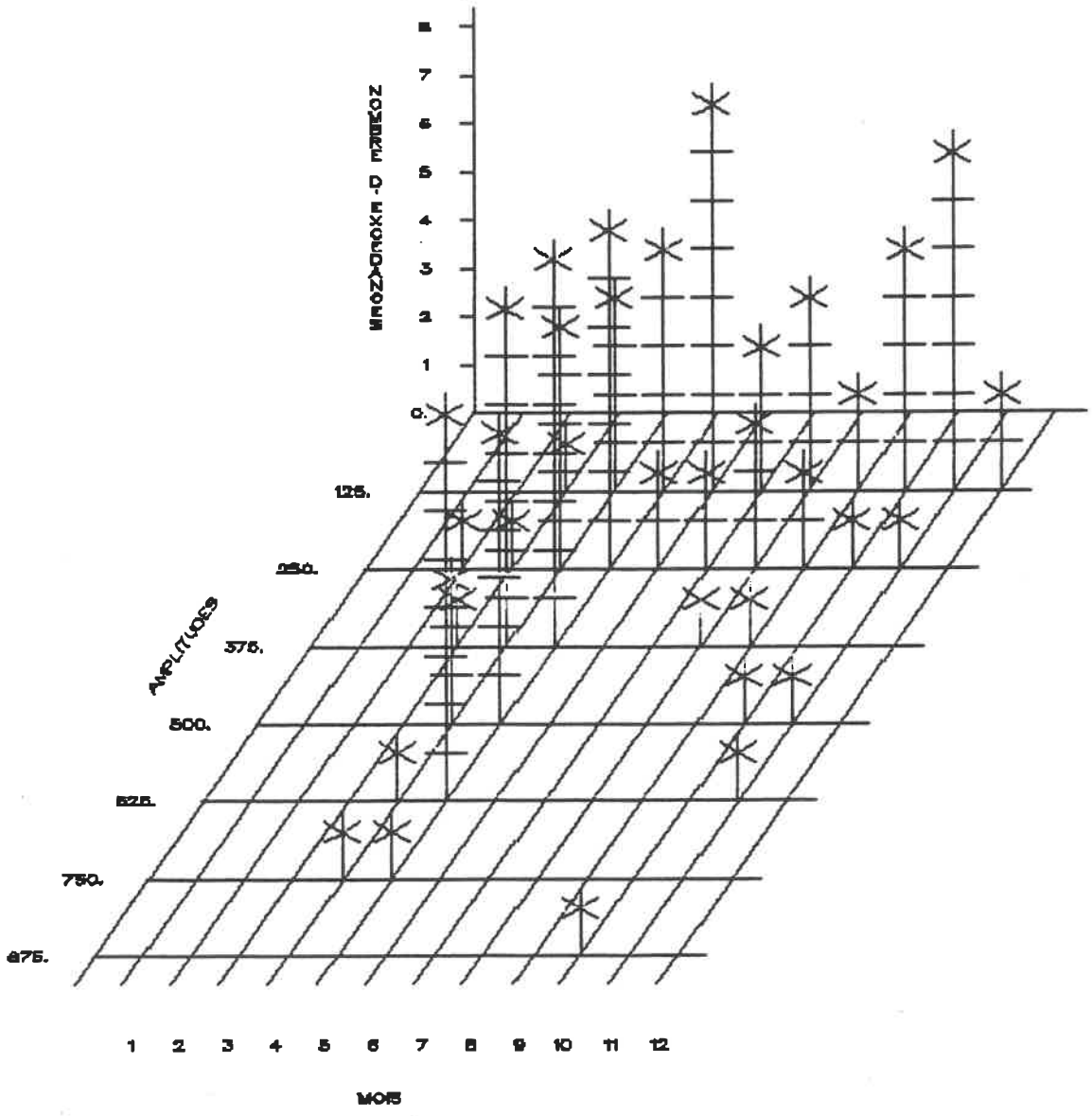


C17.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

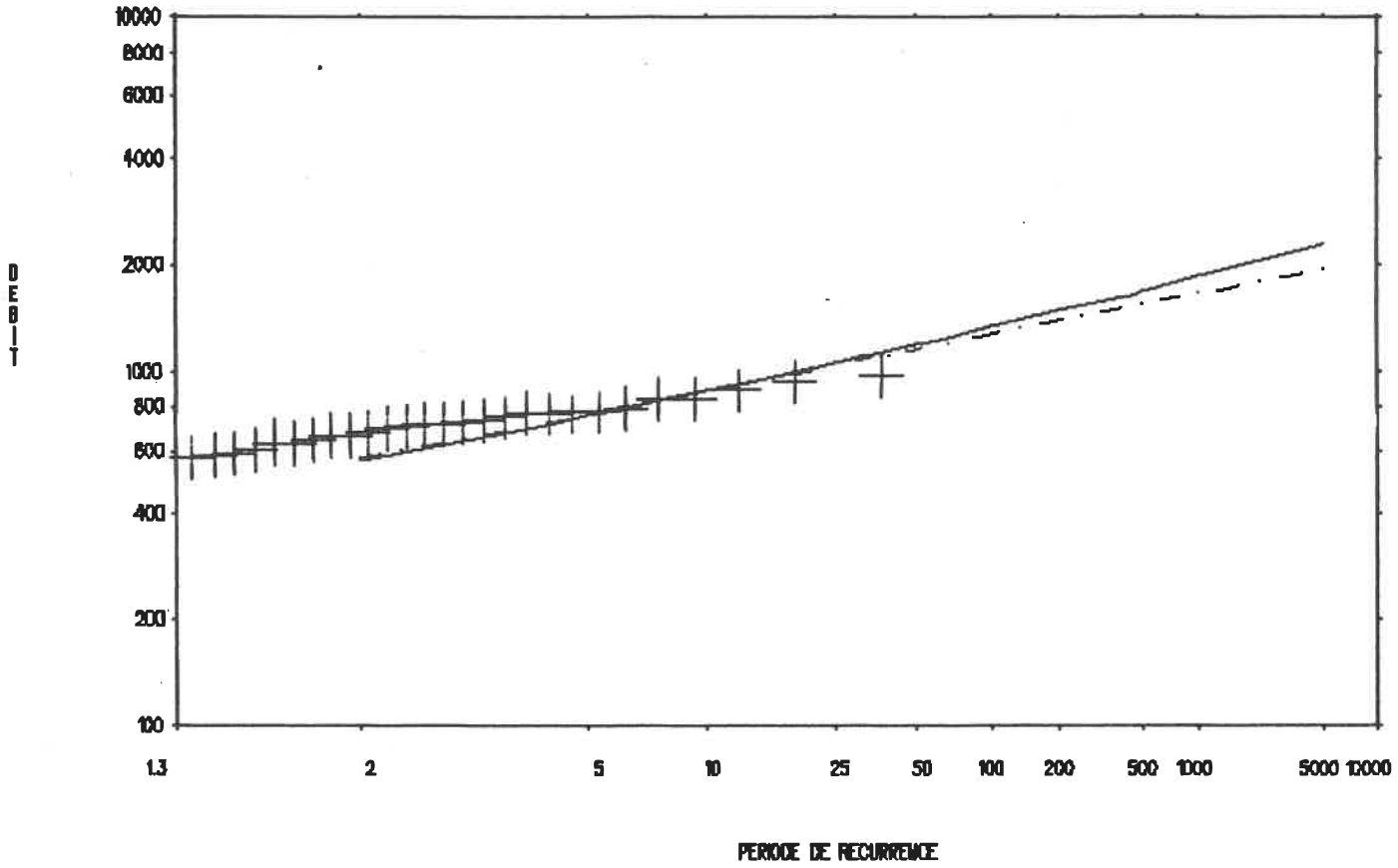


C17.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C17 - Station 02PA001 + 02PA007



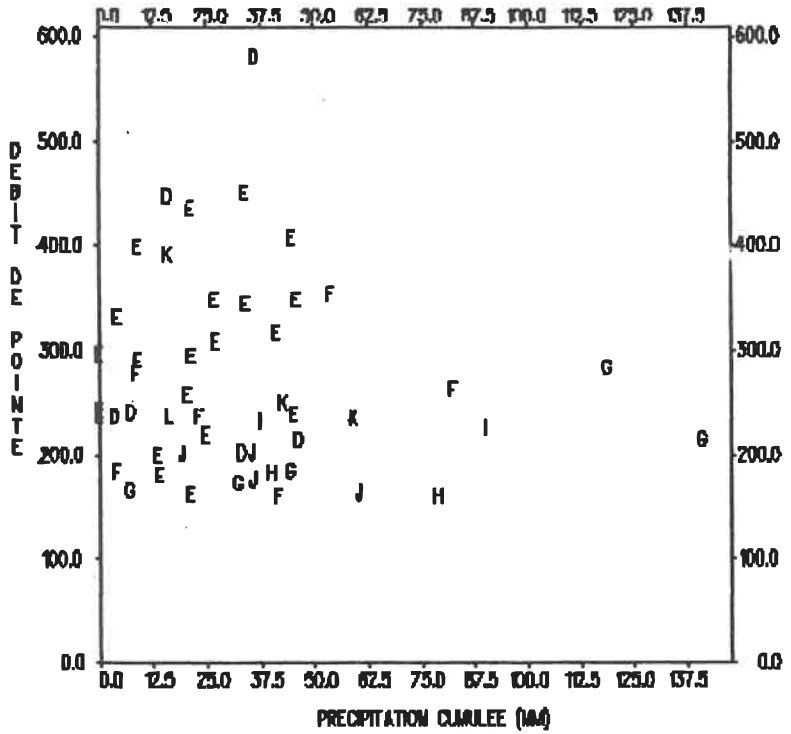
C17.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



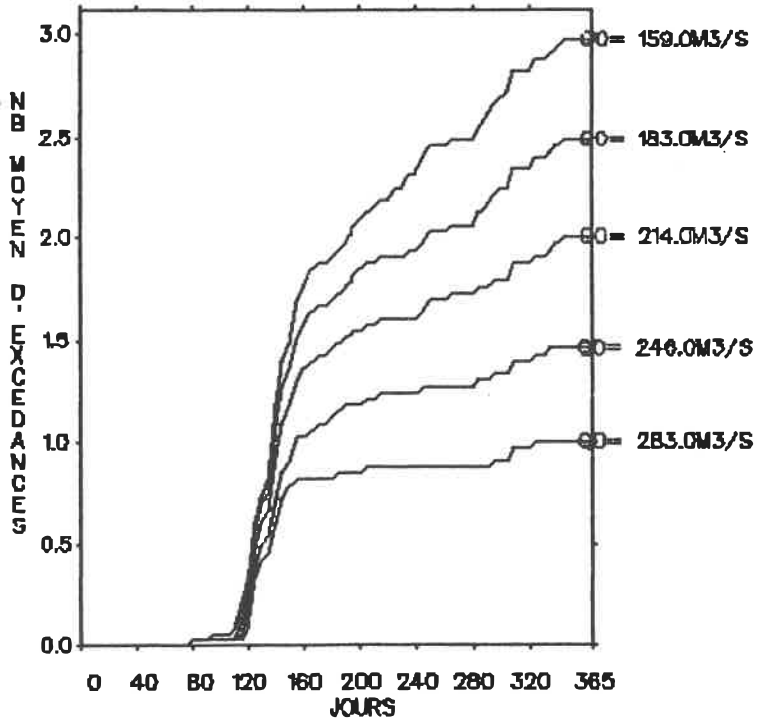
C17.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

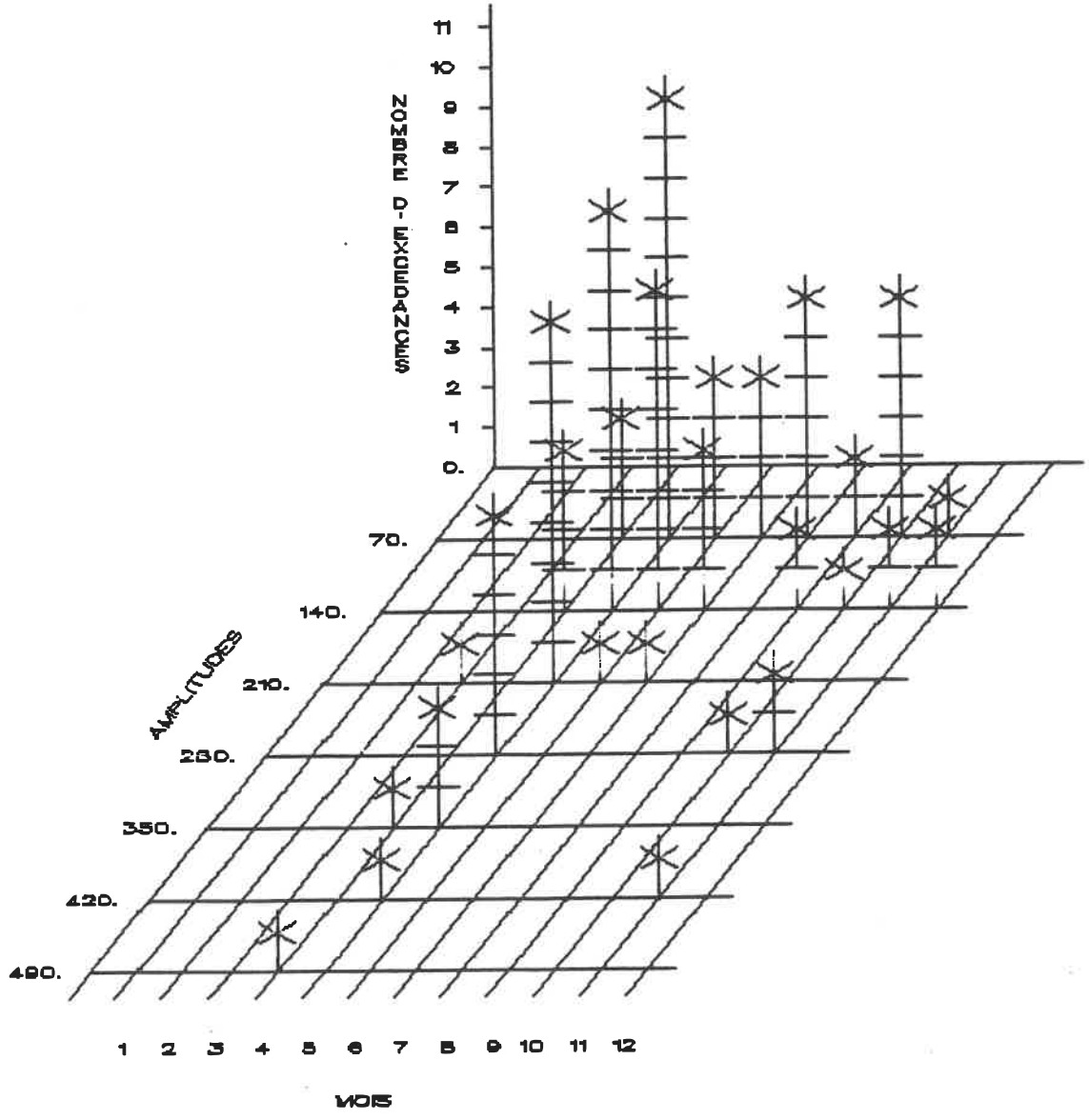


C18.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

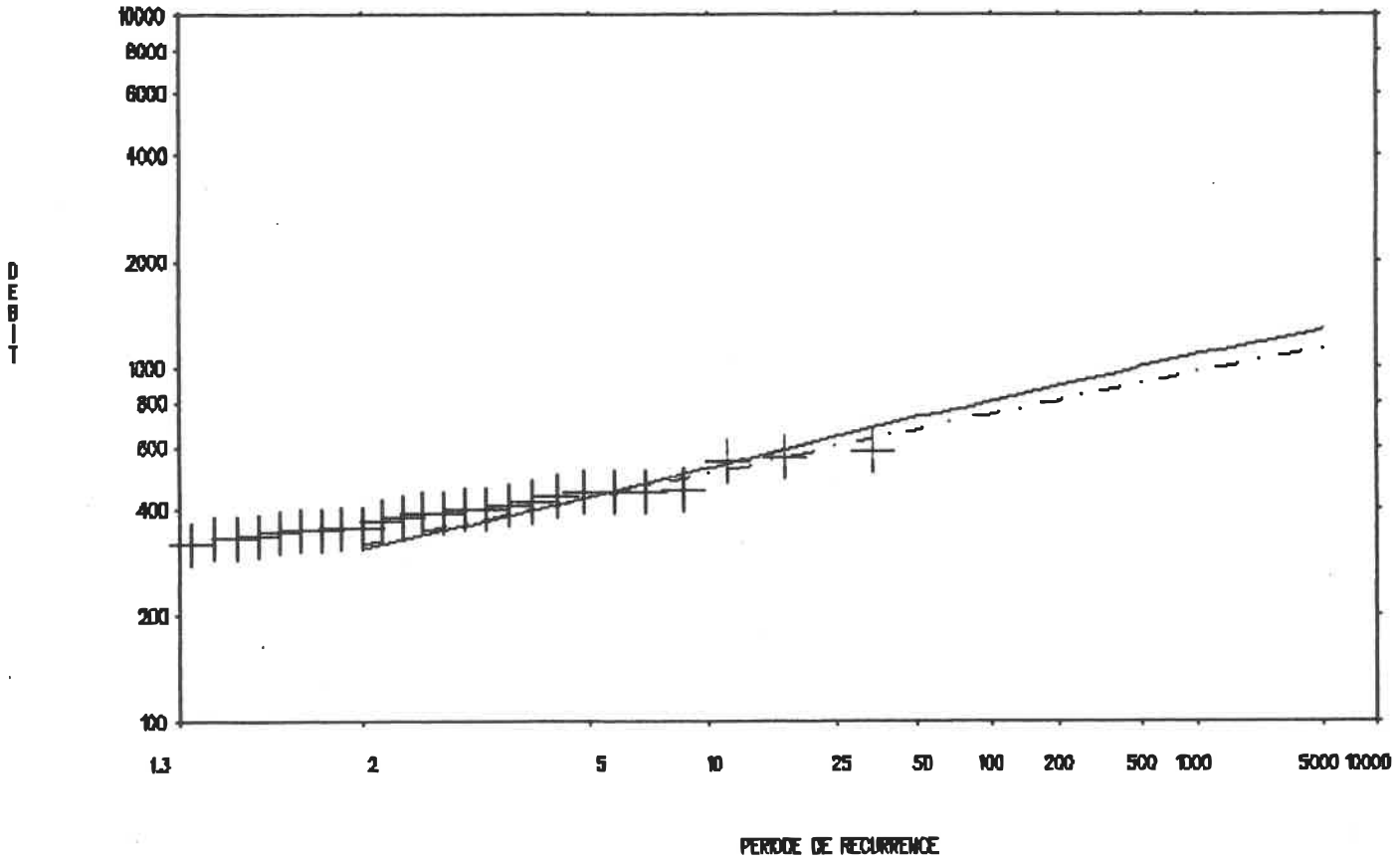


C18.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C18 - Station 02PD002



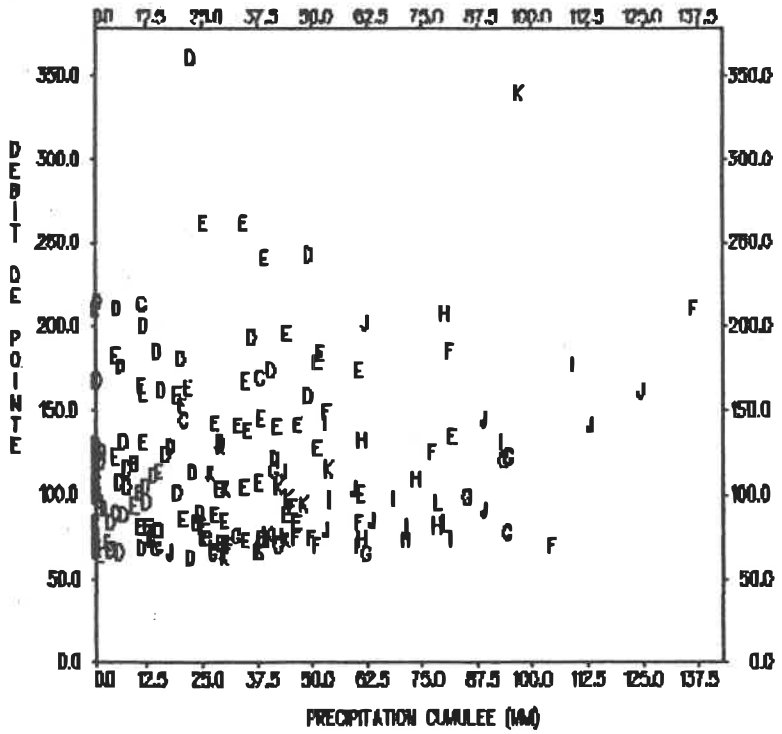
C18.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



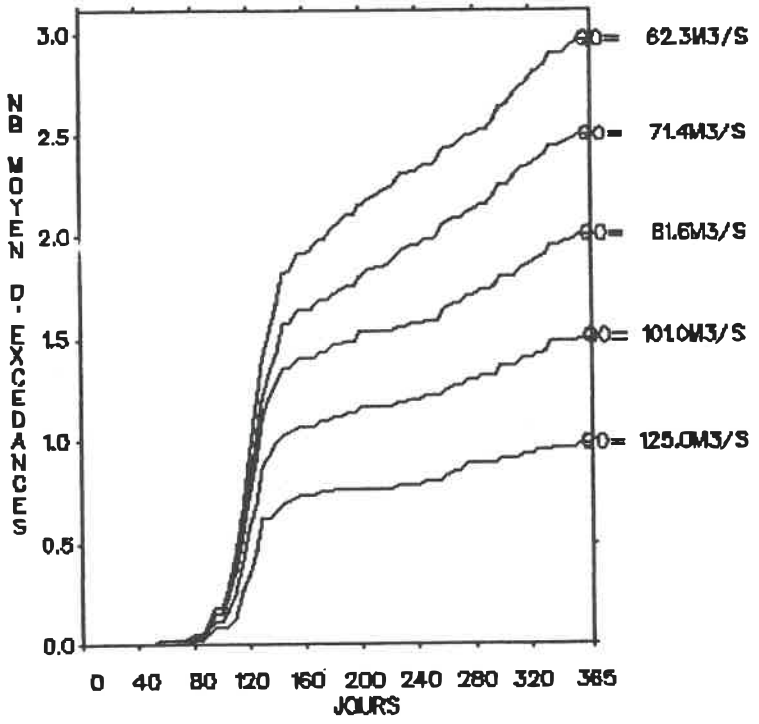
C18.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

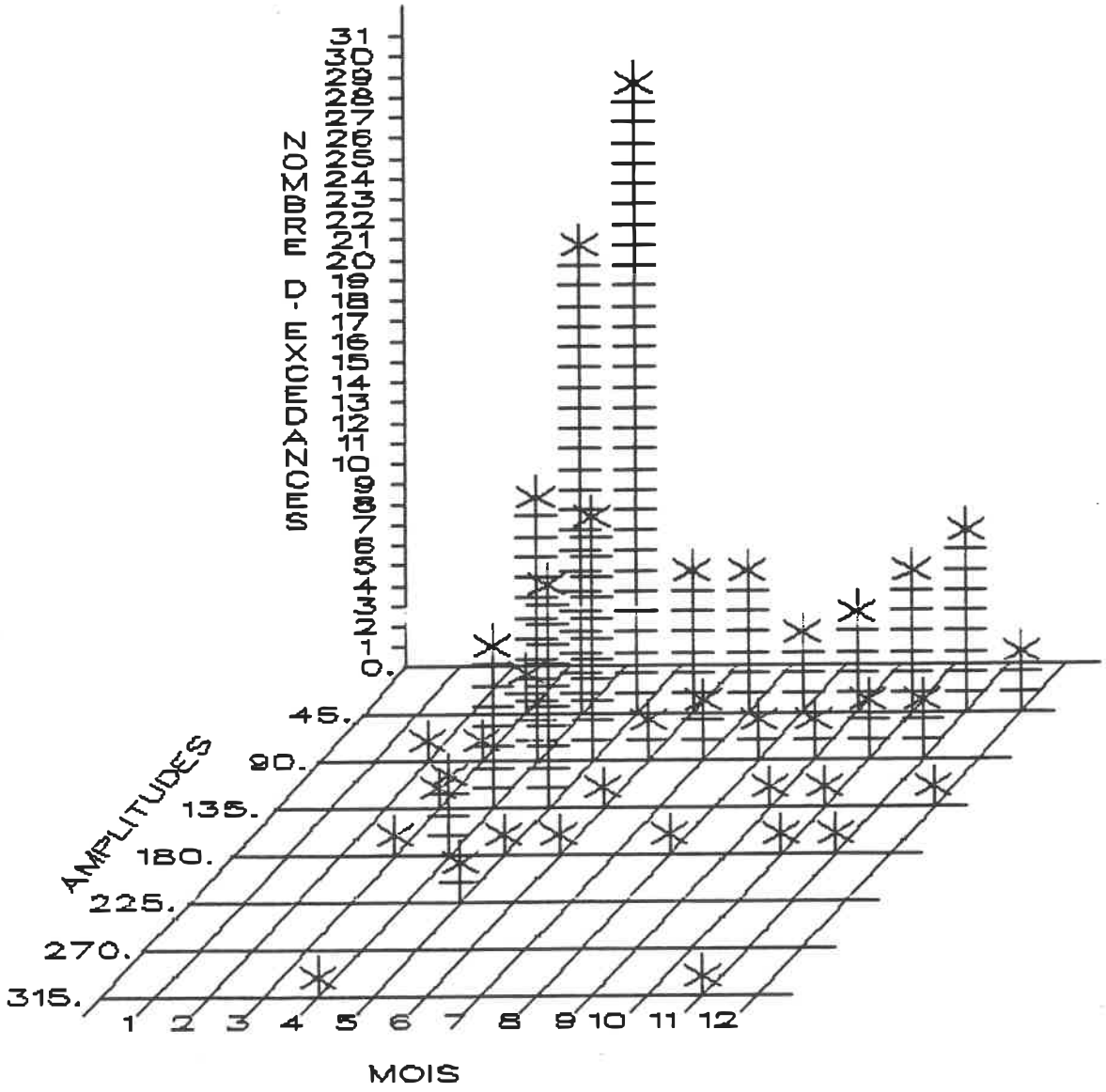


C19.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

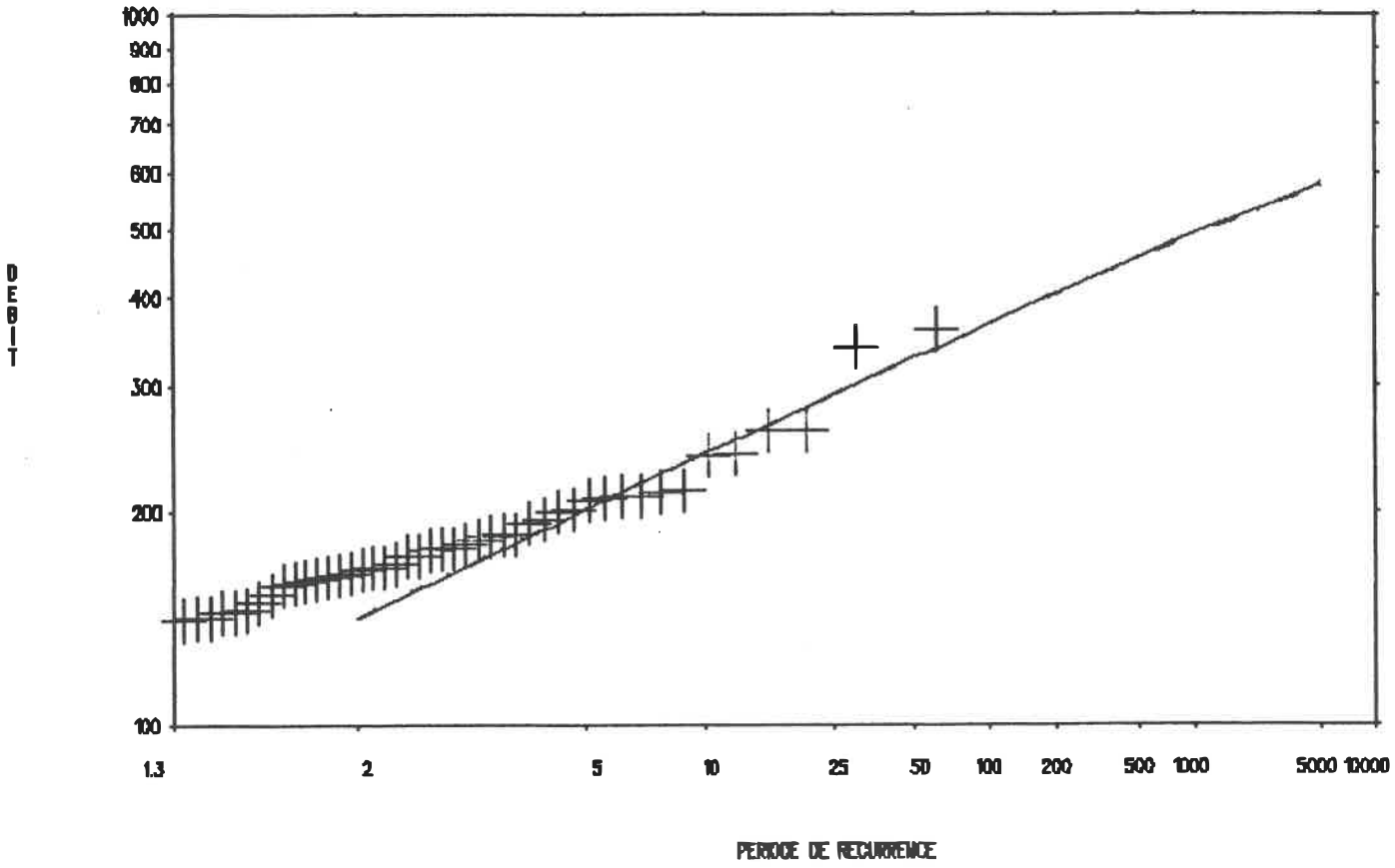


C19.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C19 - Stations 02PG002 + 02PG018 + 02PG019



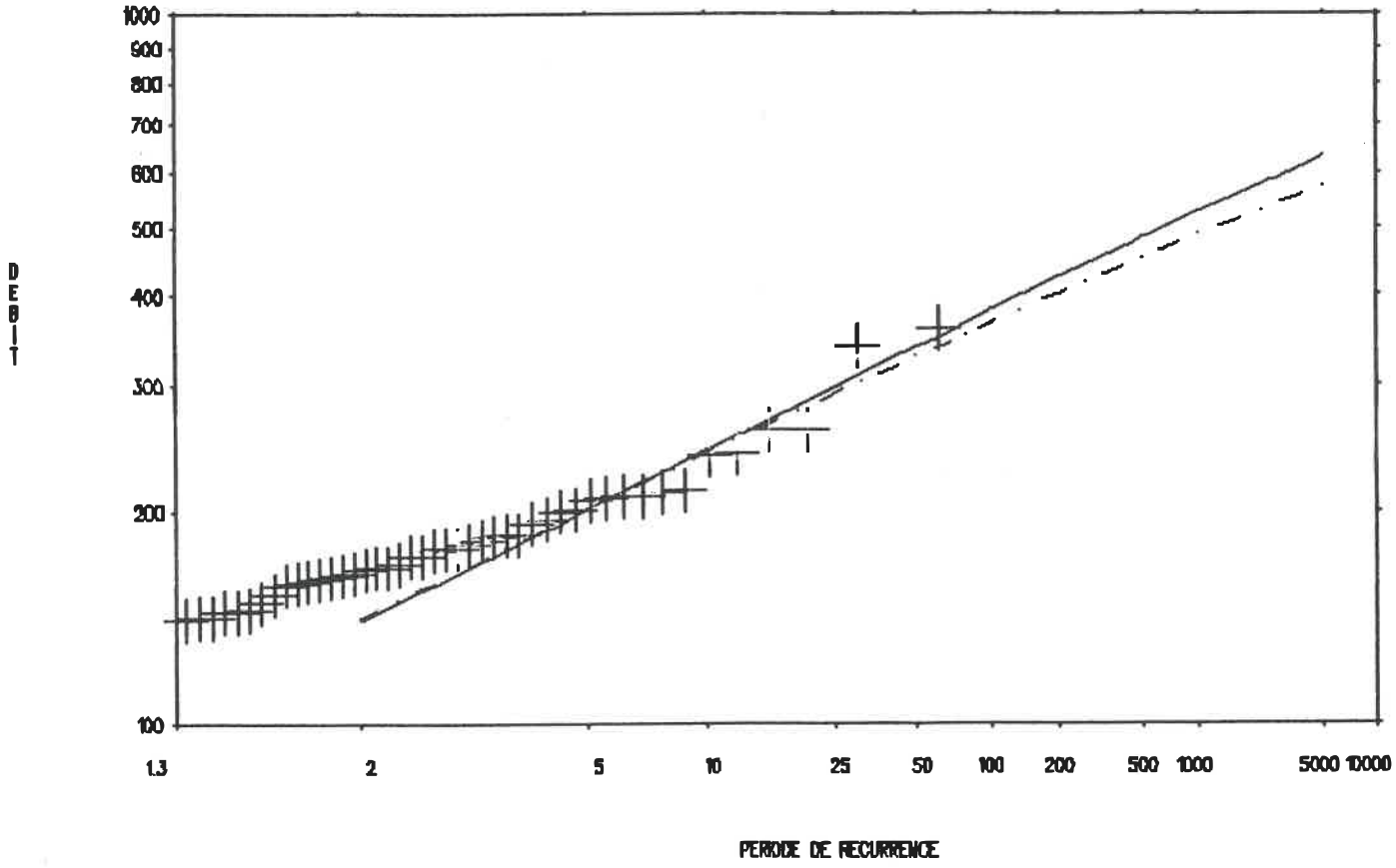
C19.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



C19.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

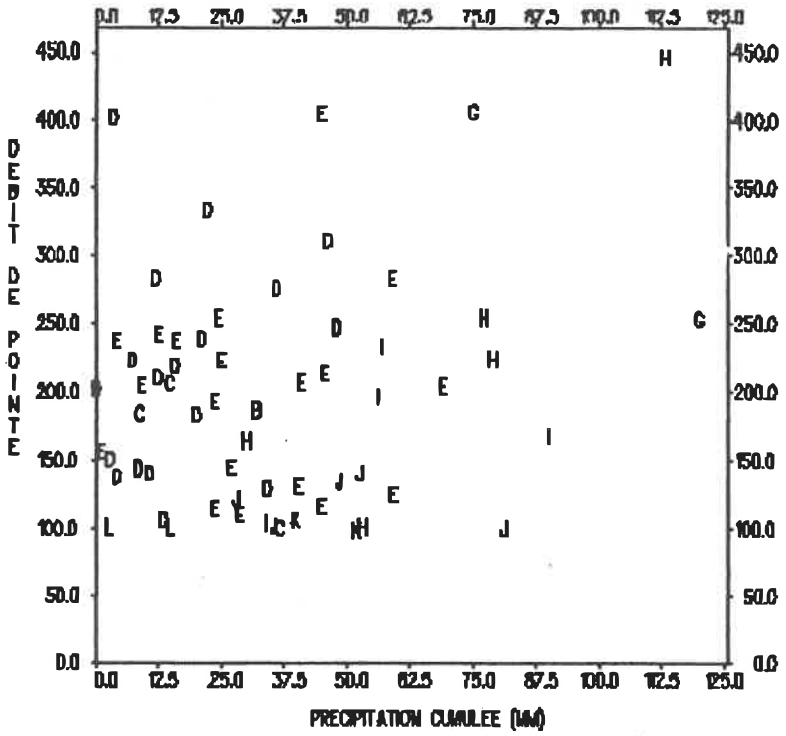
—·—· analyse annuelle

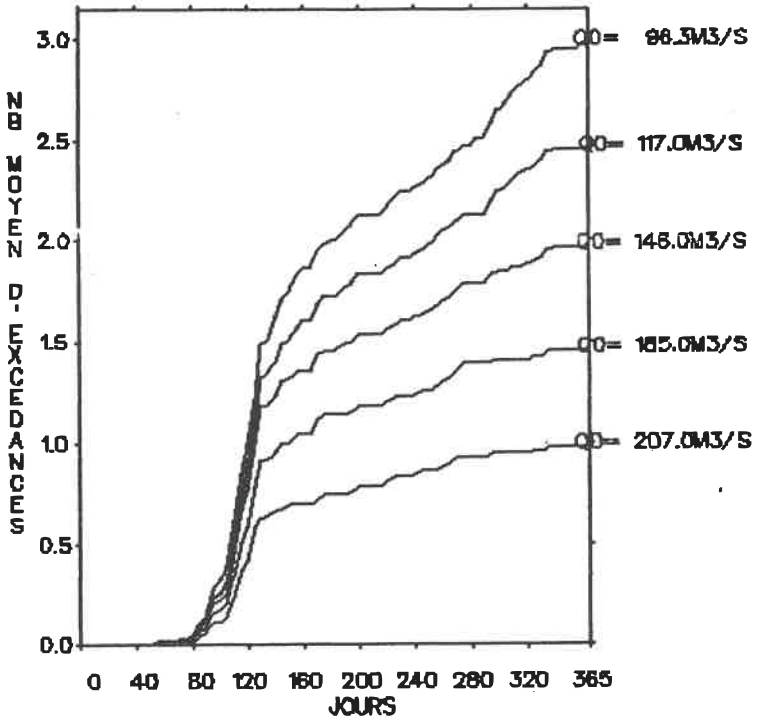


C19.e - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage selon les phénomènes générateurs

– – analyse annuelle

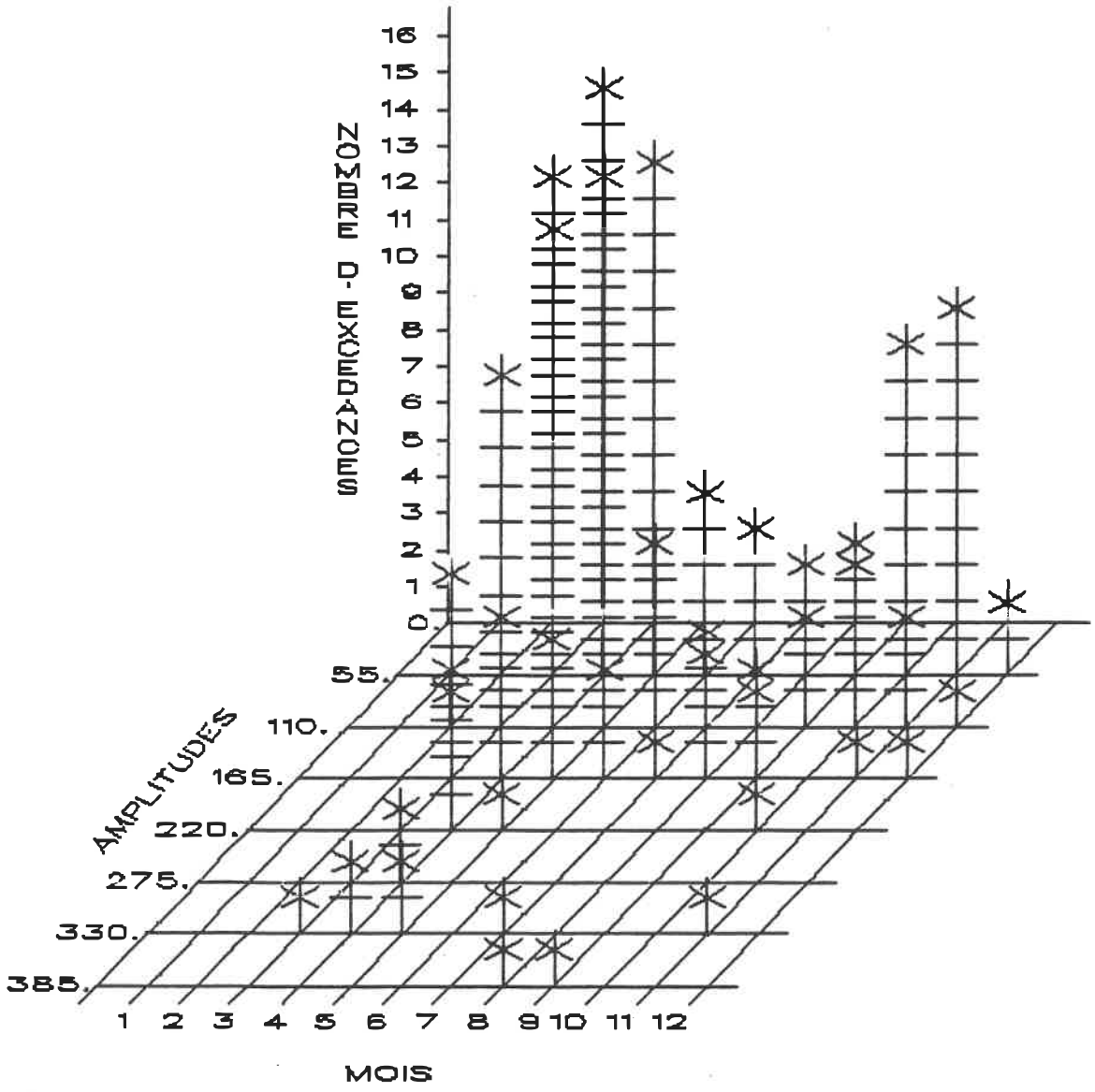




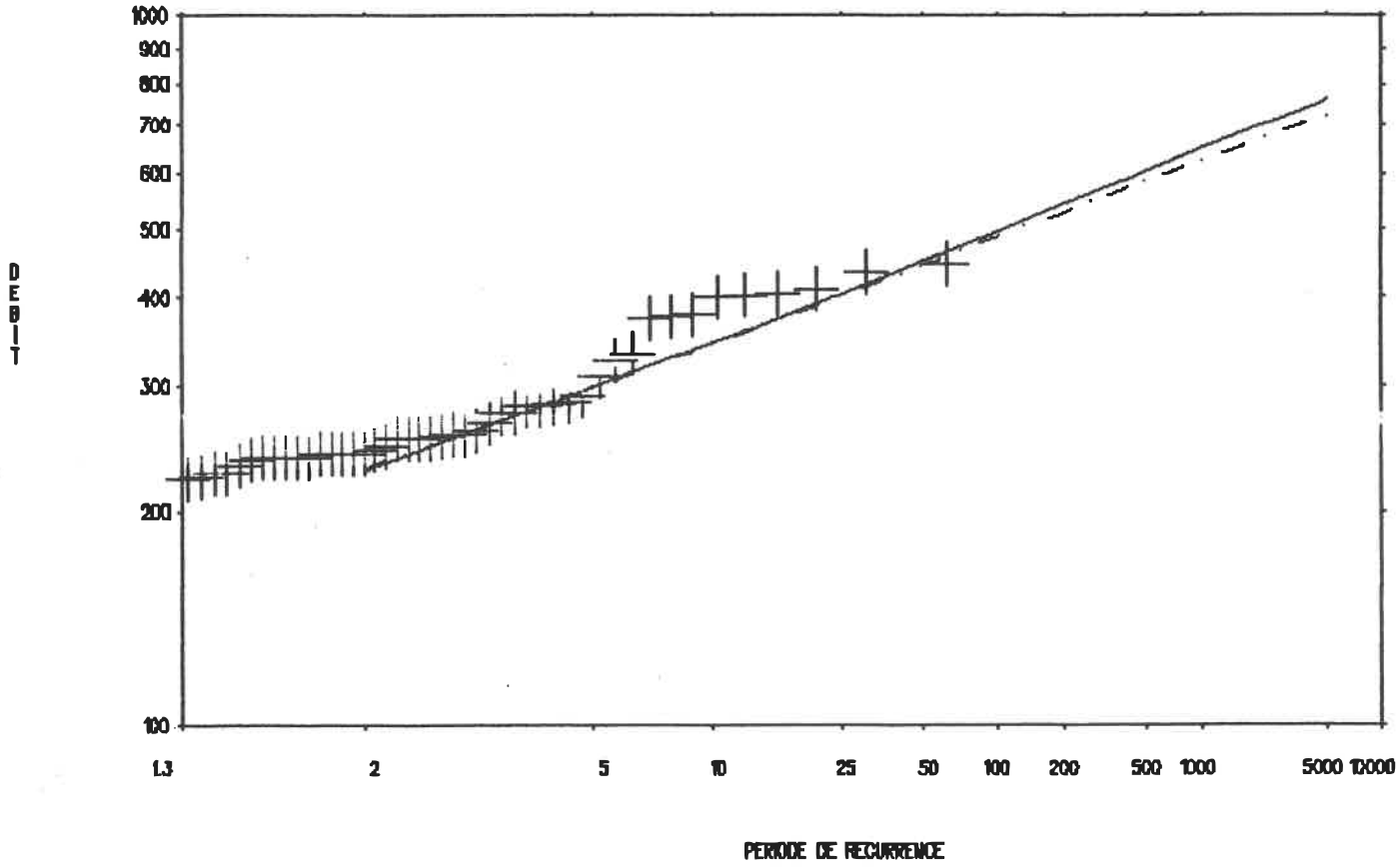
C20.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

C20.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C20 - Stations 02PH001 + 02PH010



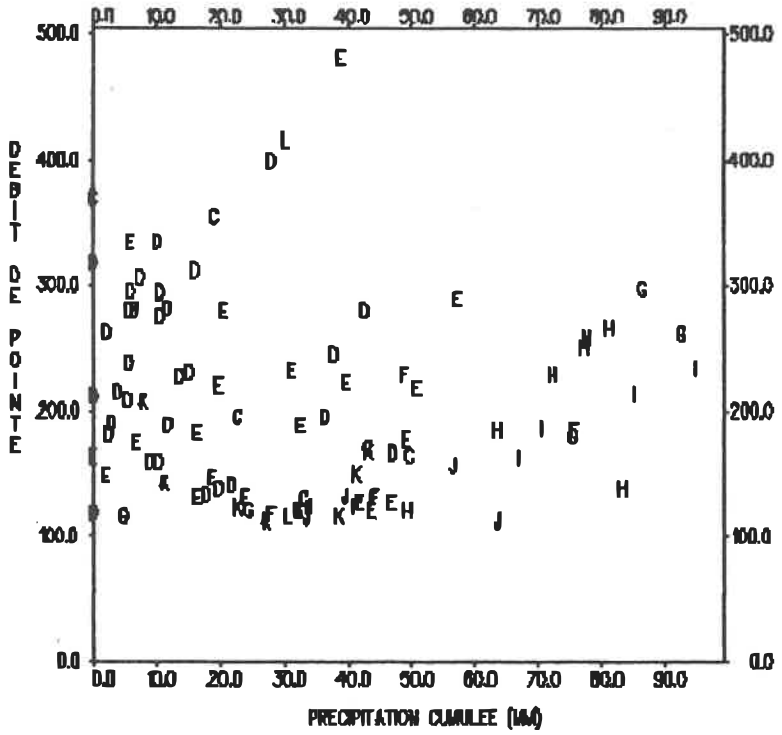
C20.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



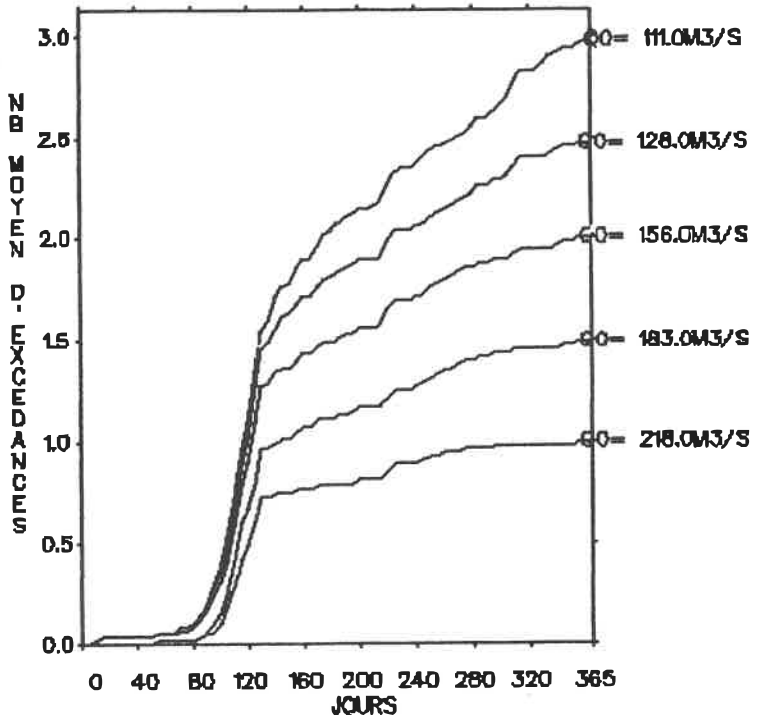
C20.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

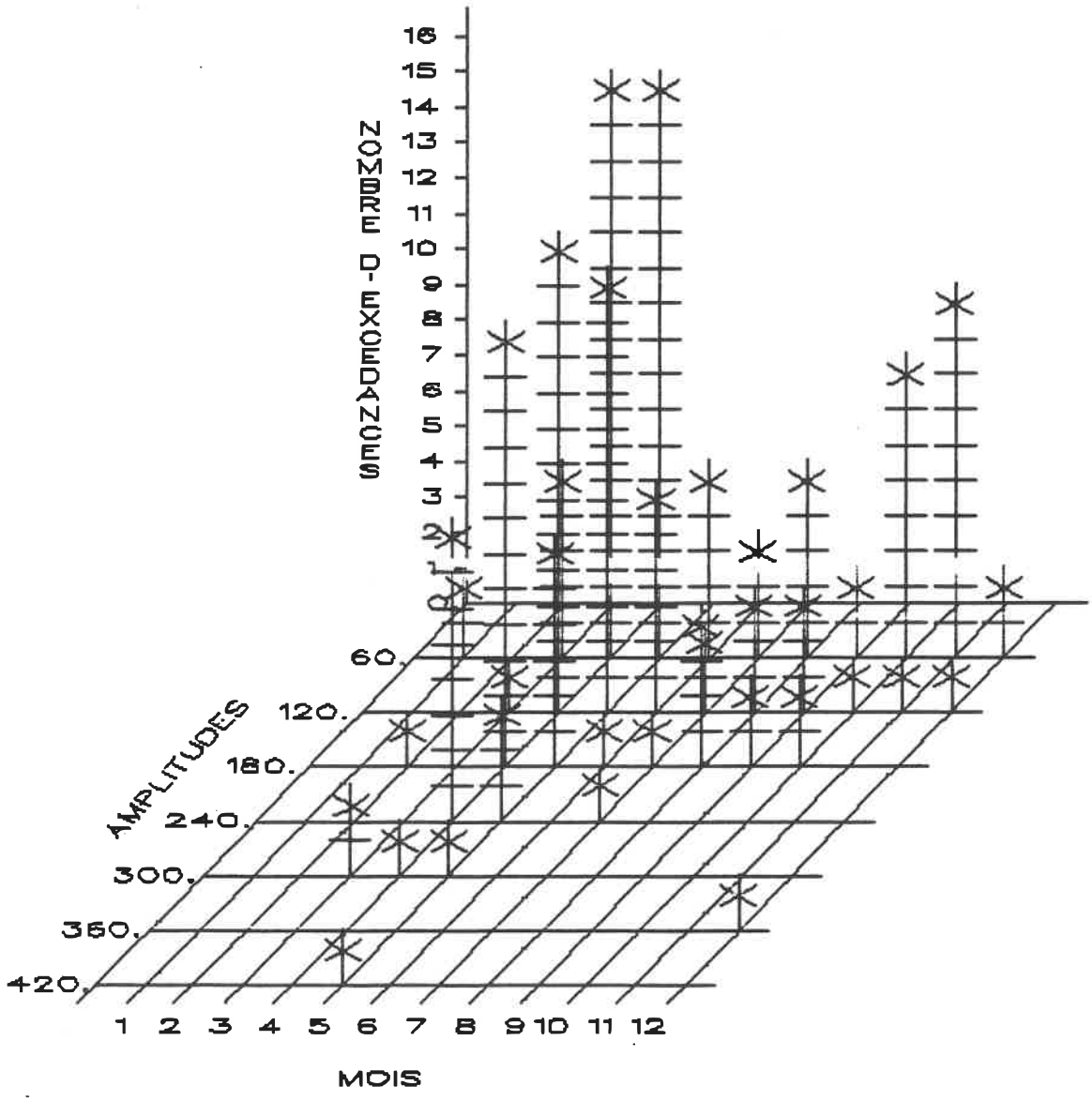


C21.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

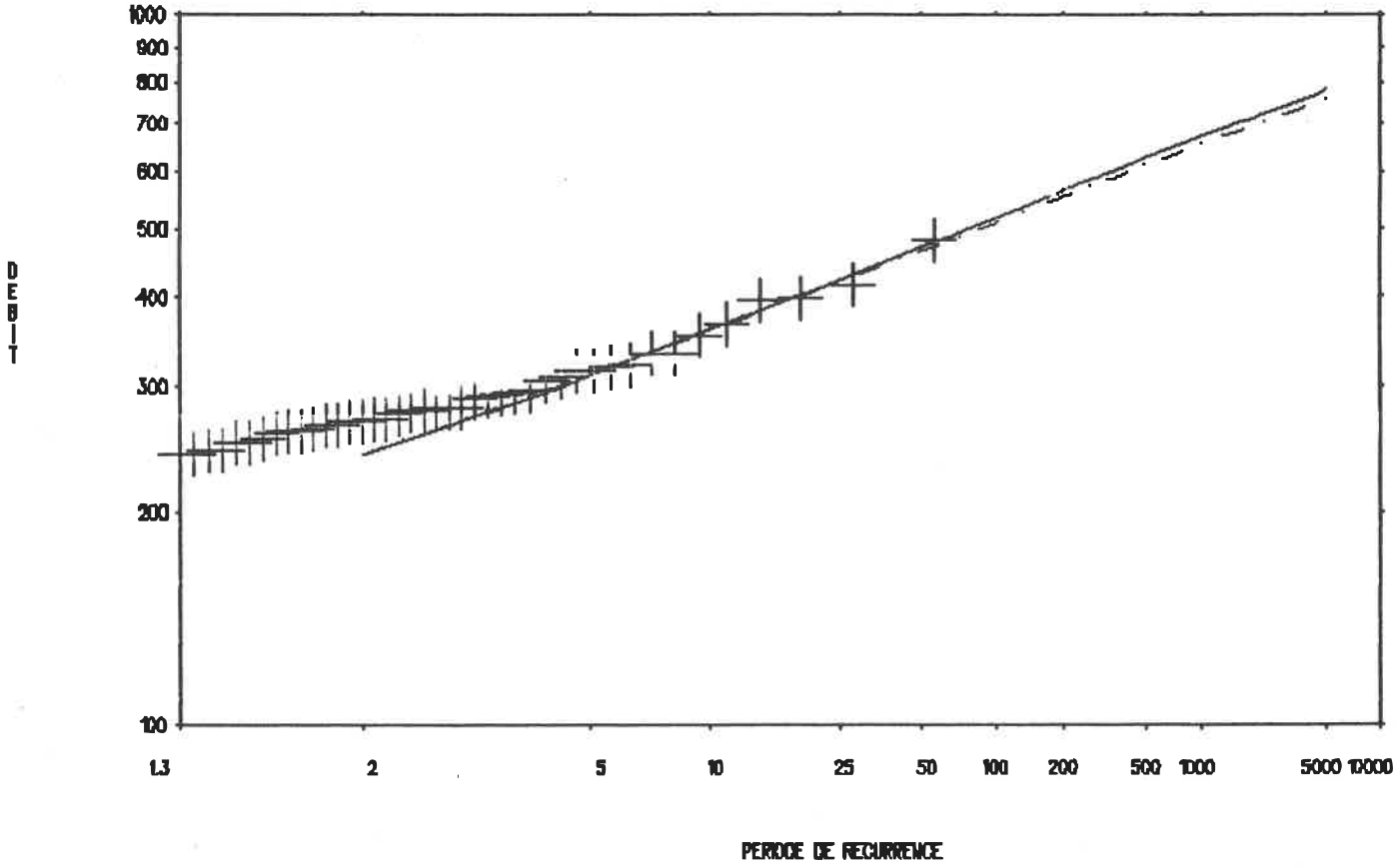


C21.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C21 - Stations 02PH004 + 02PH011



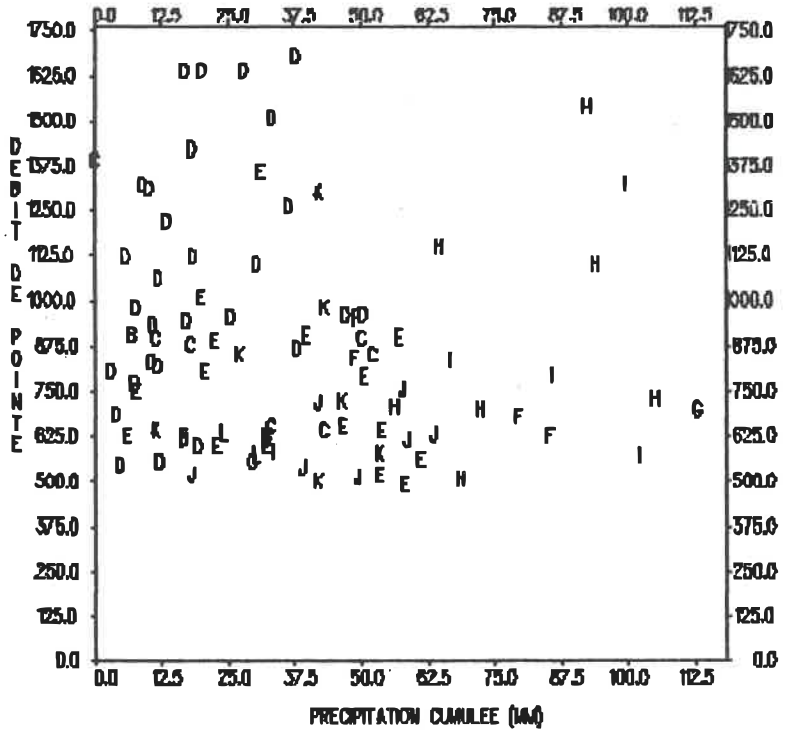
C21.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois

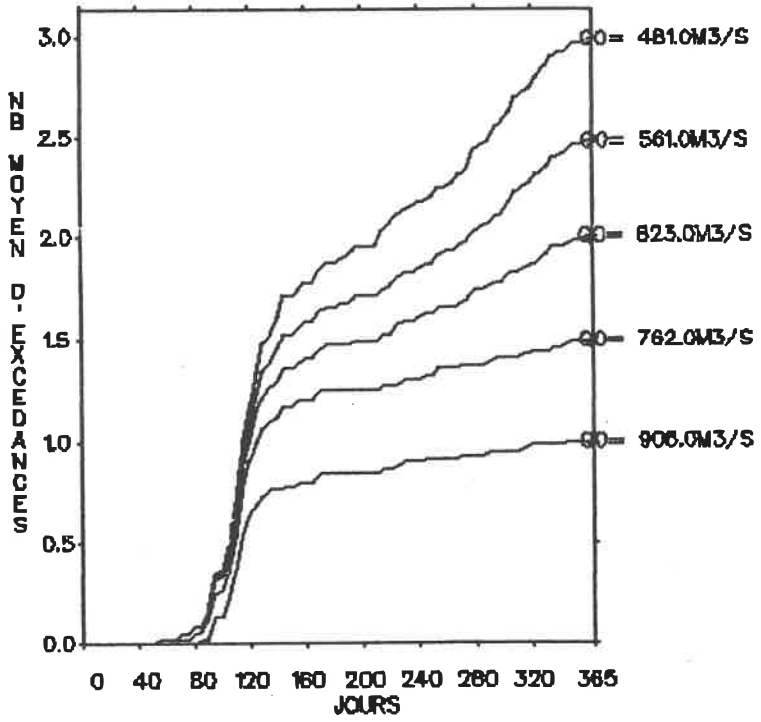


C21.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

—— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

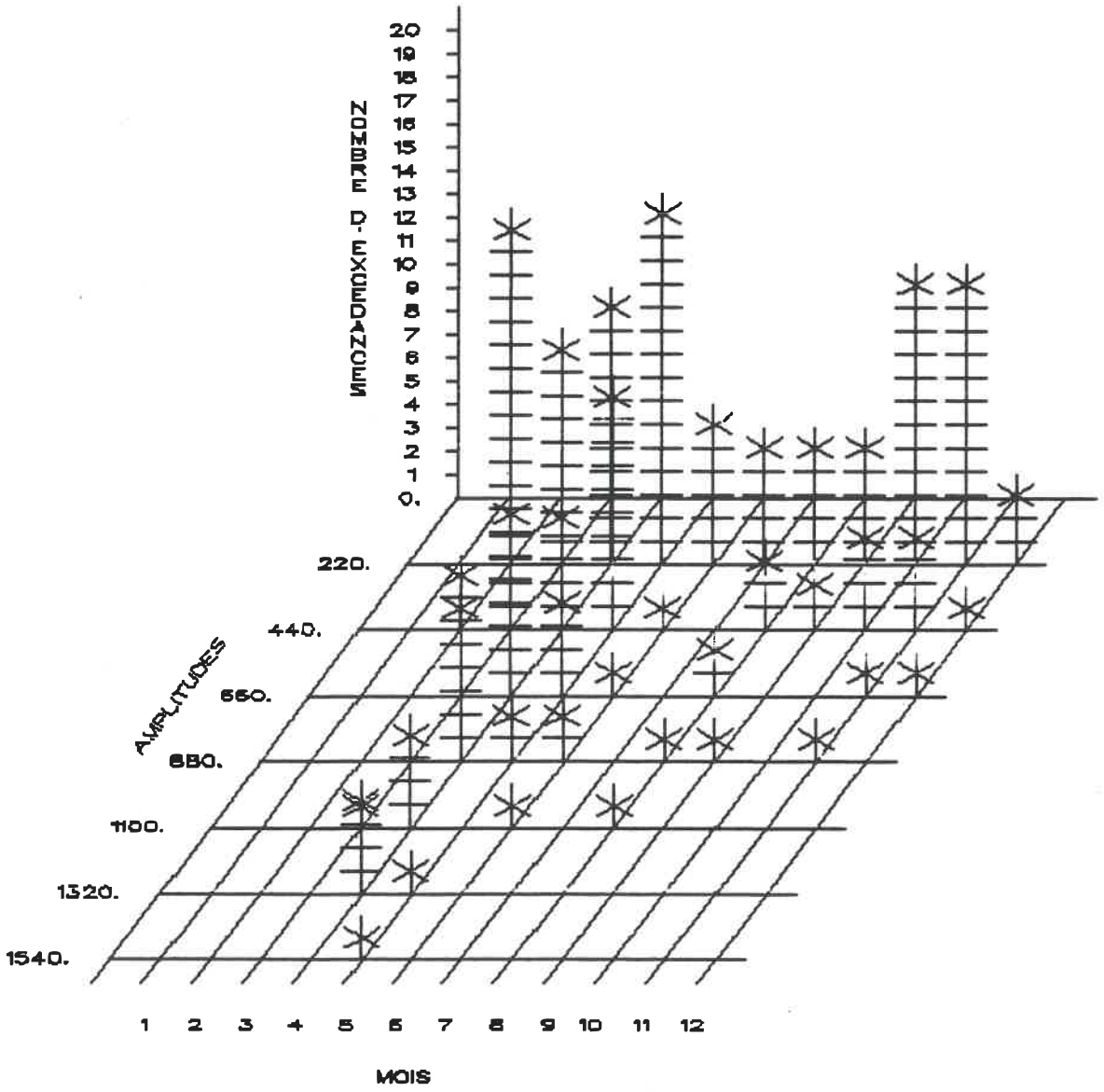




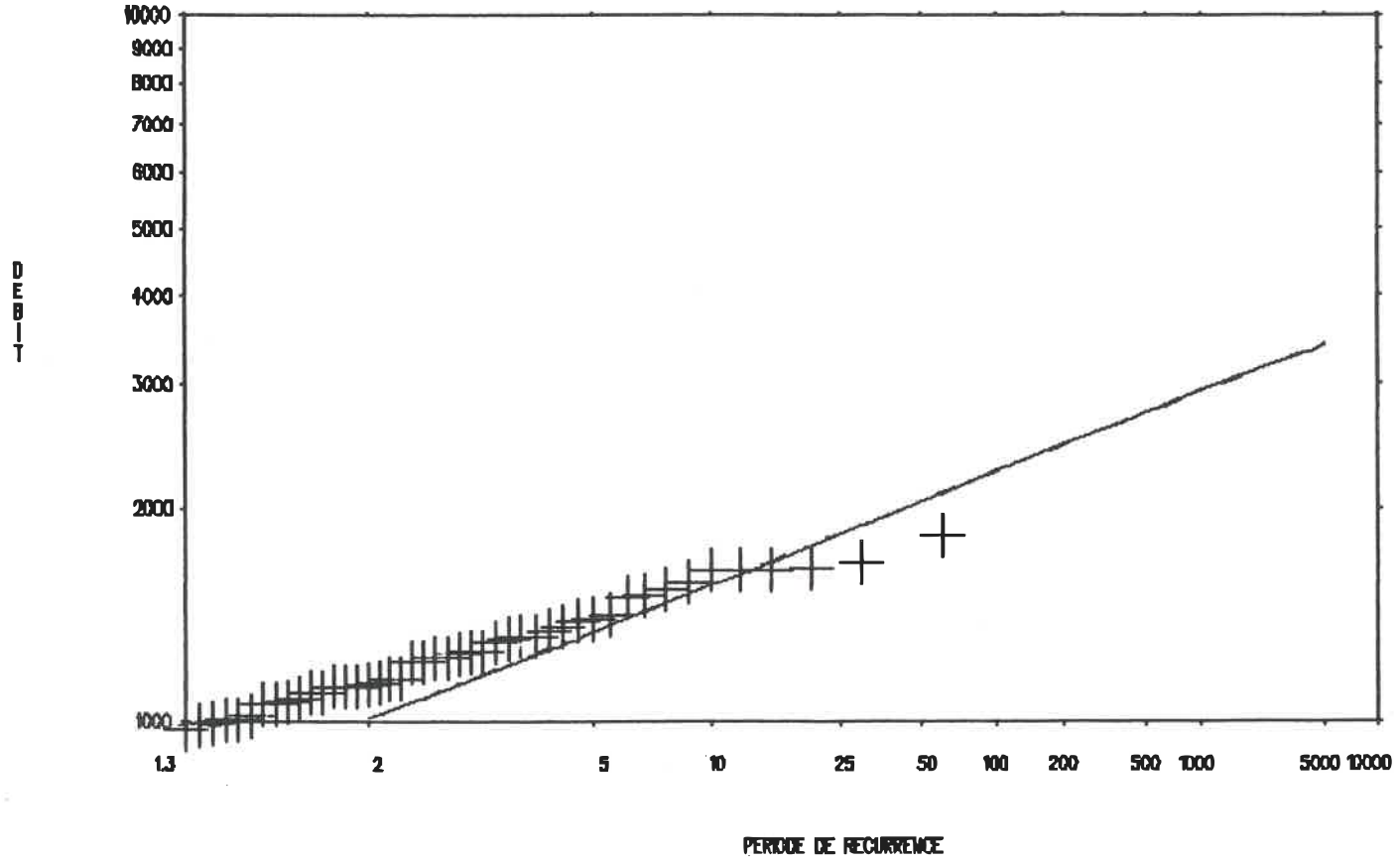
C22.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

C22.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C22 - Station 02PJ005



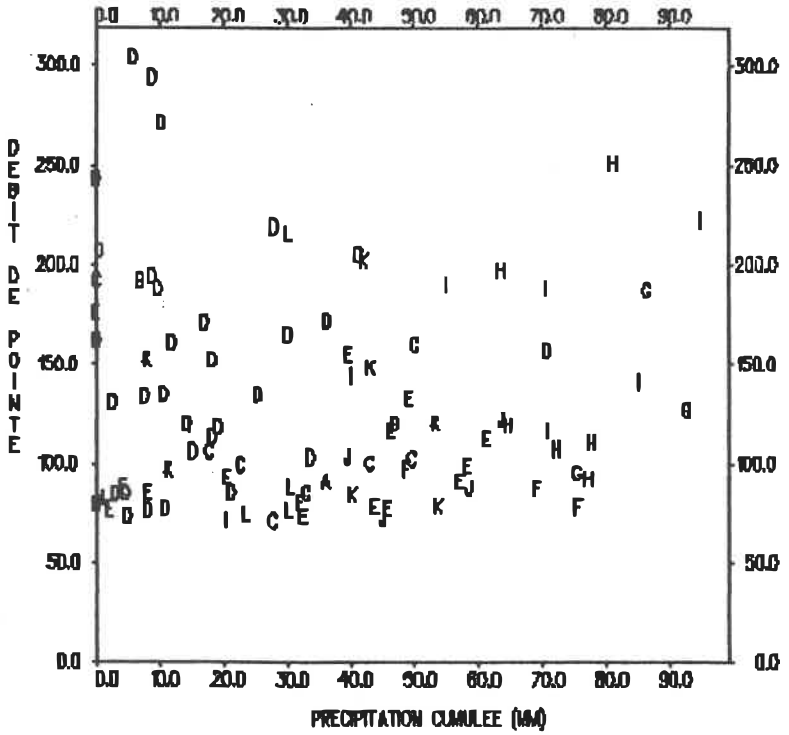
C22.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



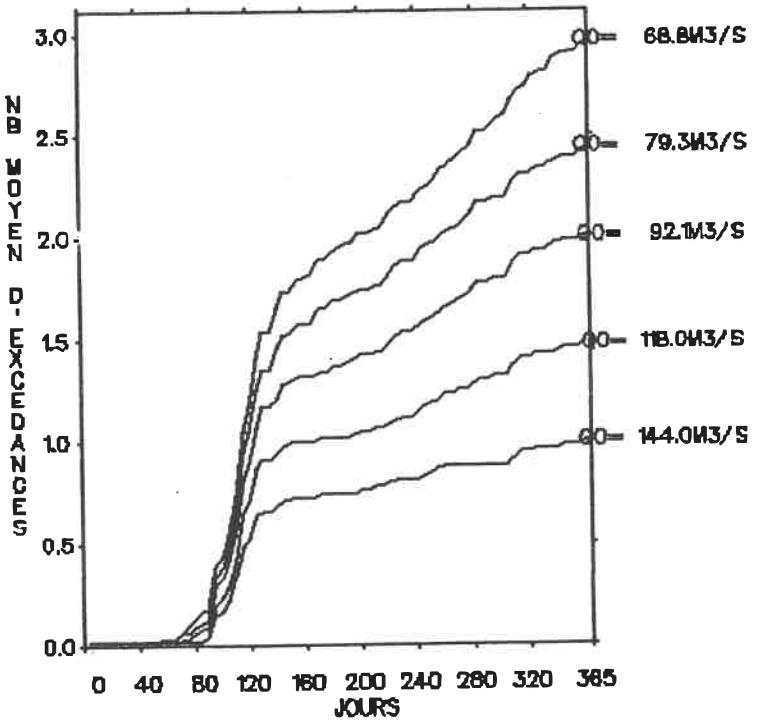
C22.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

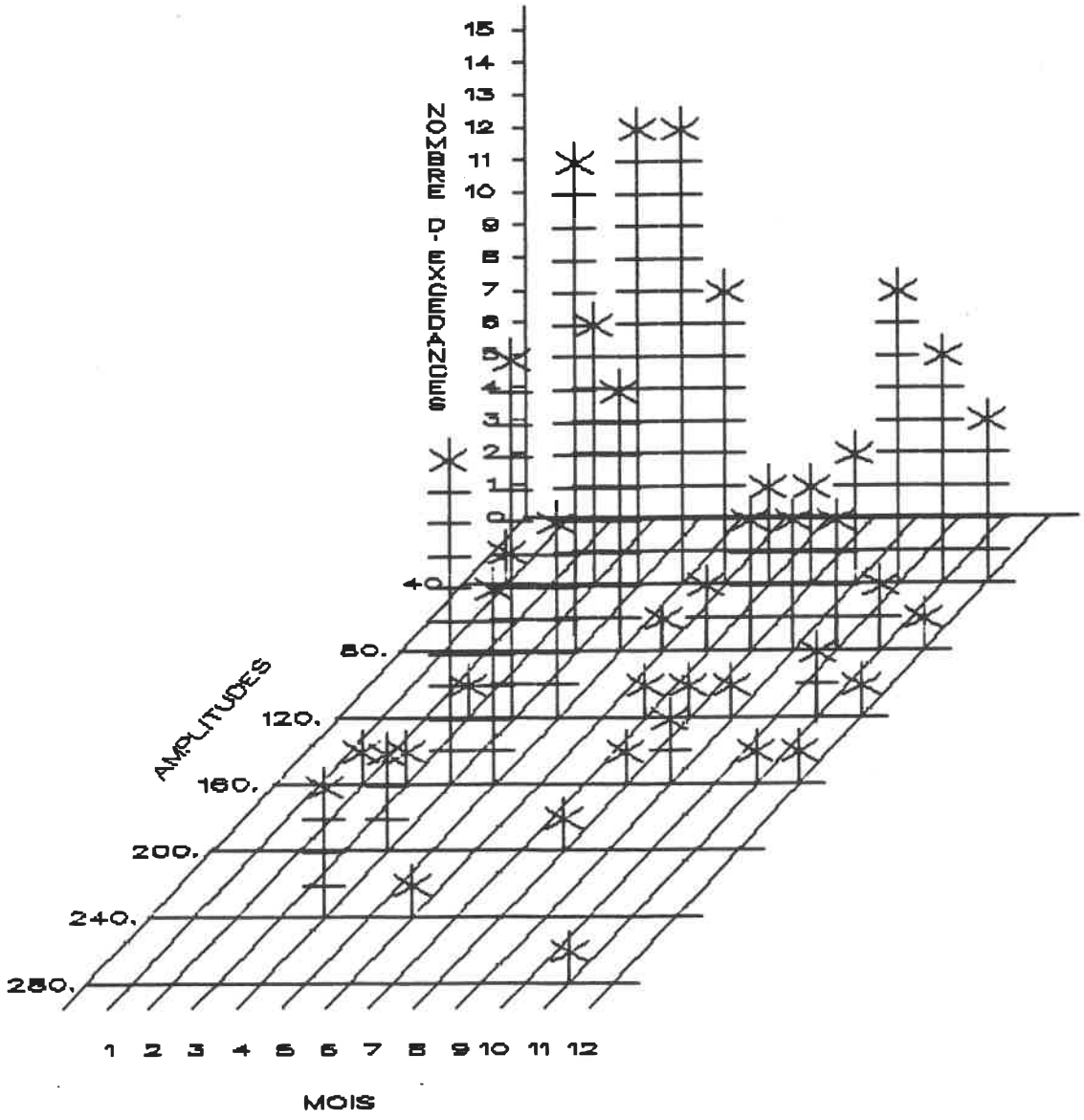


C23.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

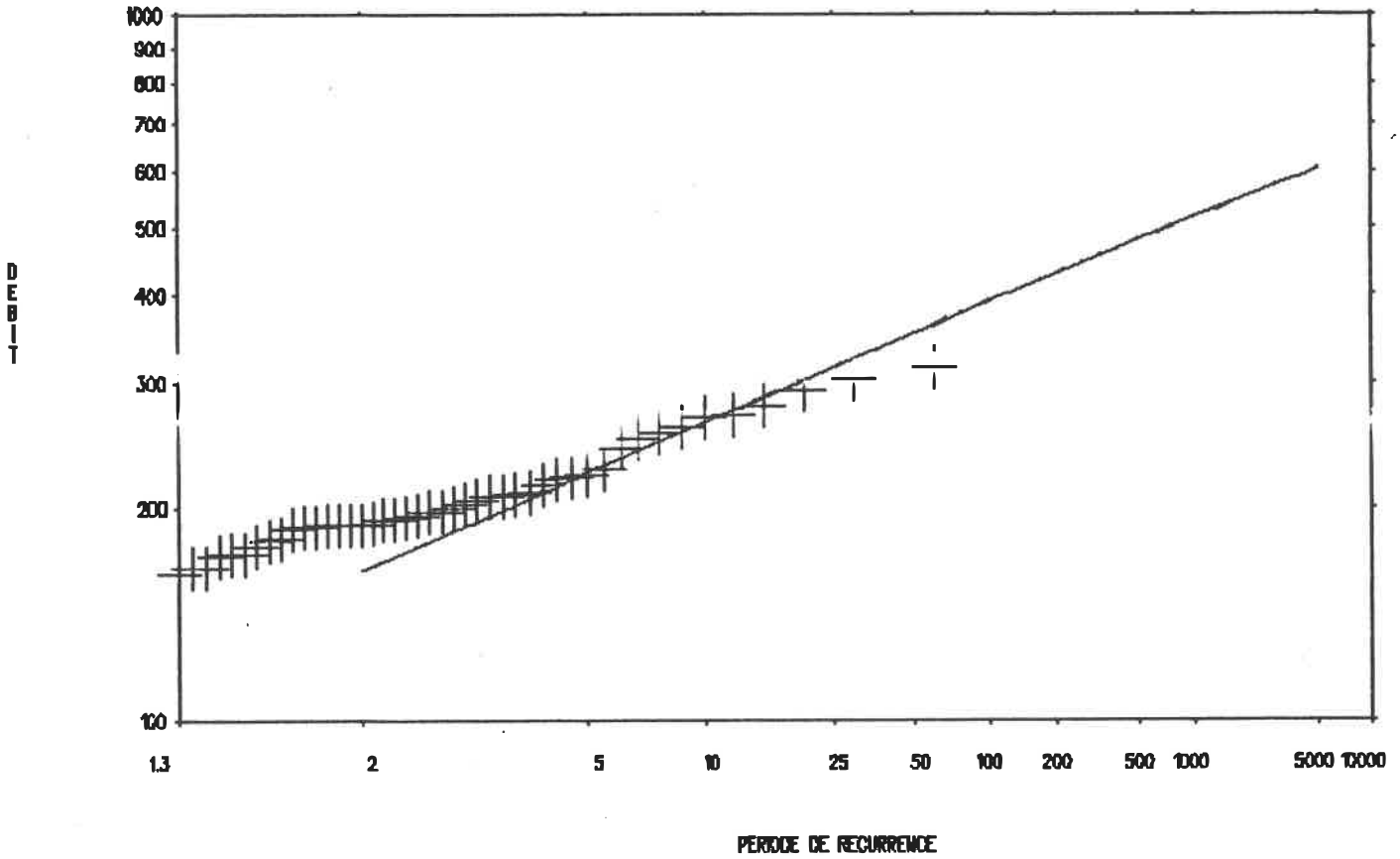


C23.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C23 - Station 02PJ007



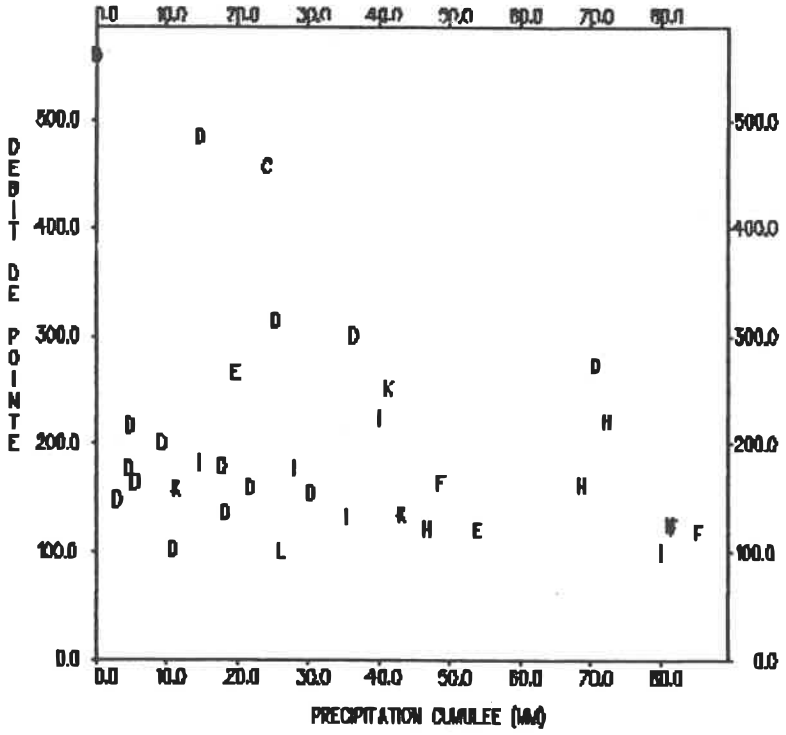
C23.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



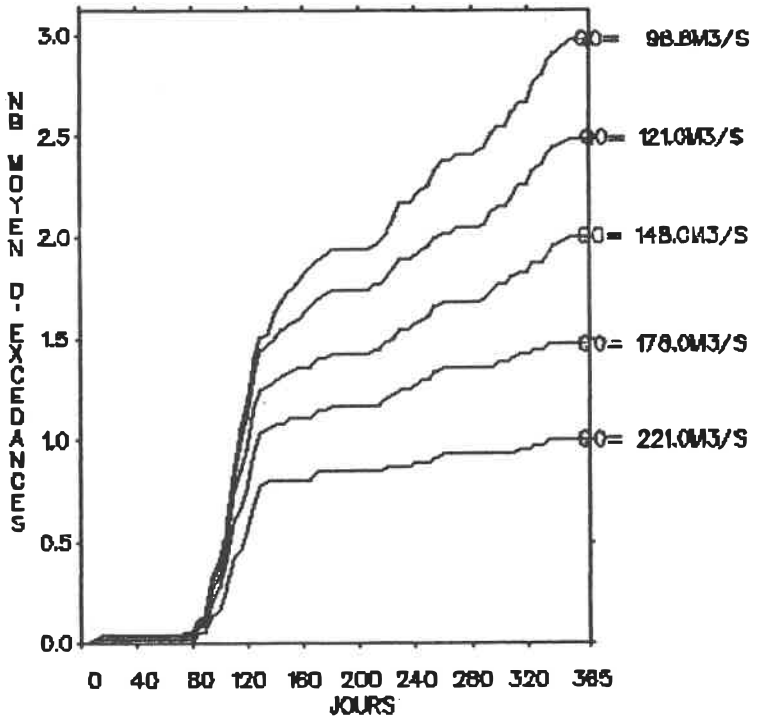
C23.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

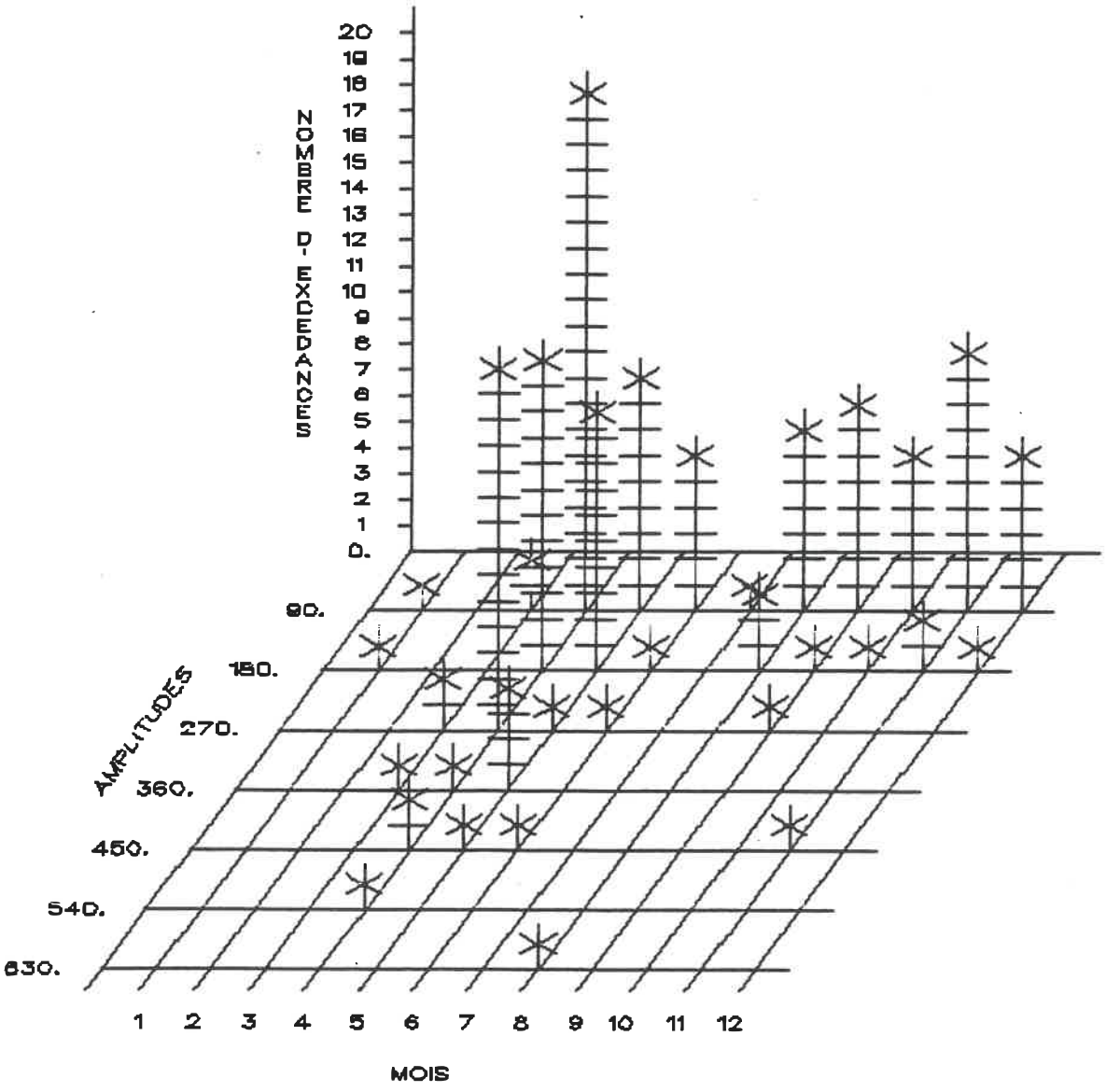


C24.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

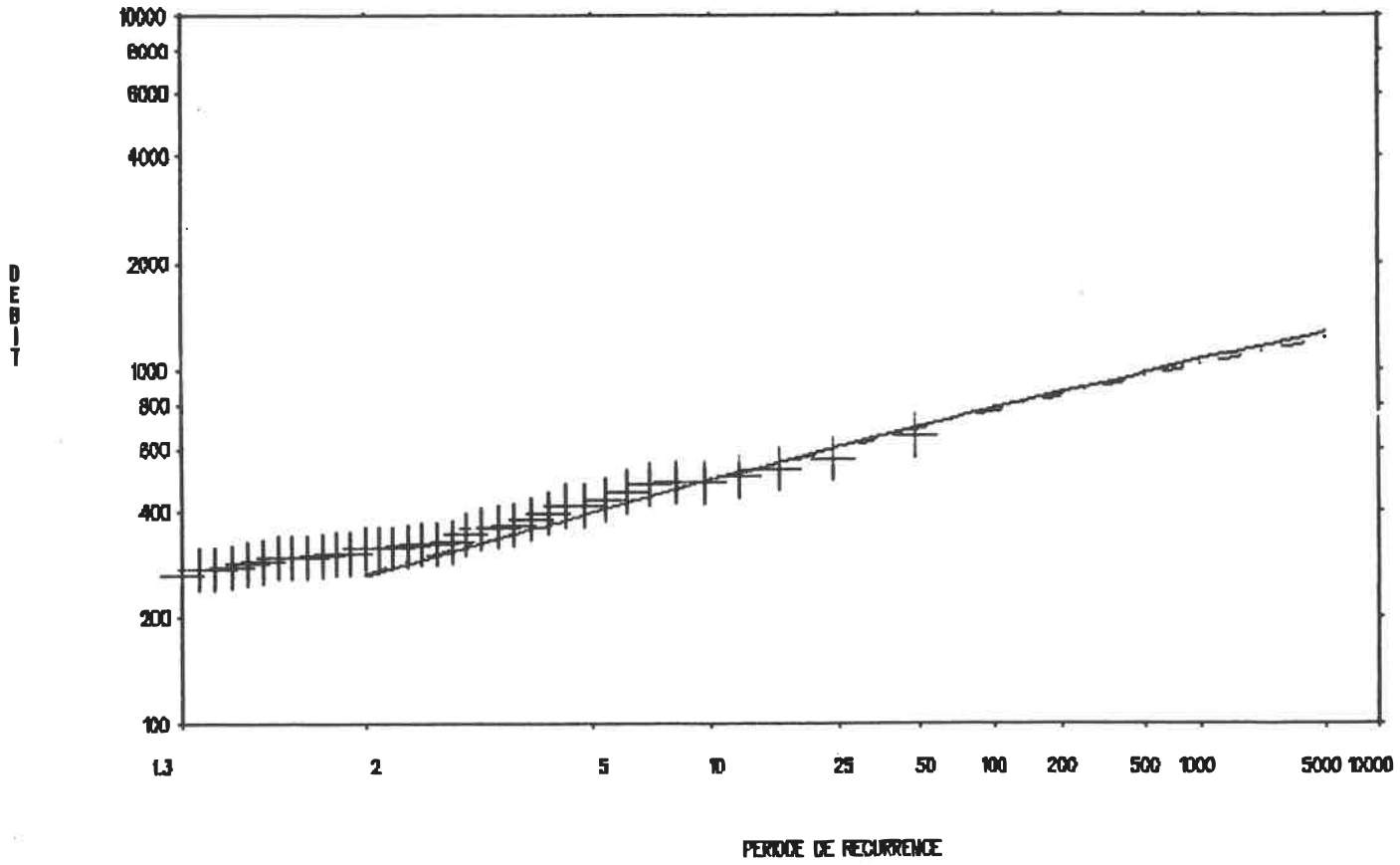


C24.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C24 - Station 02PL001



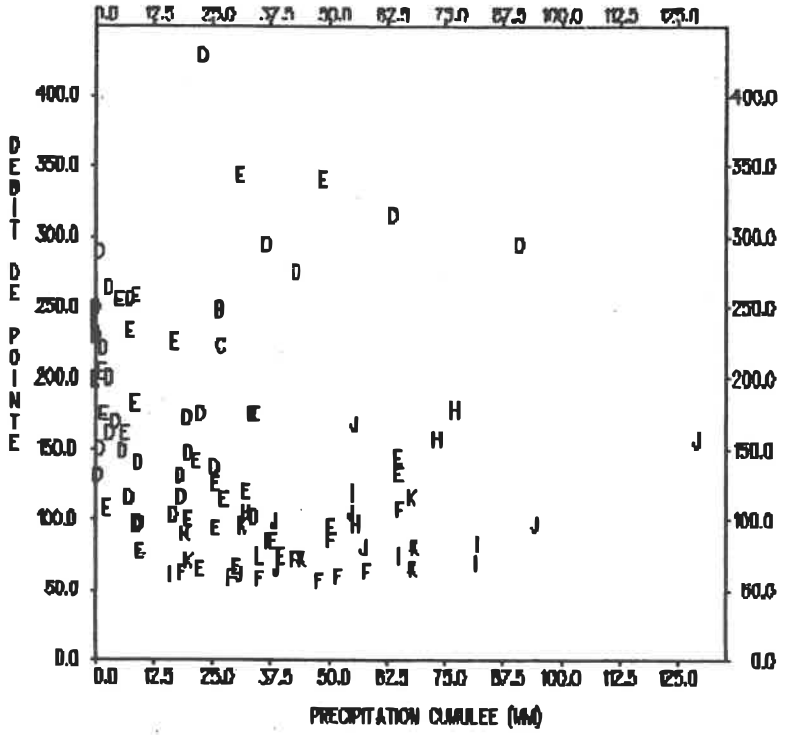
C24.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois

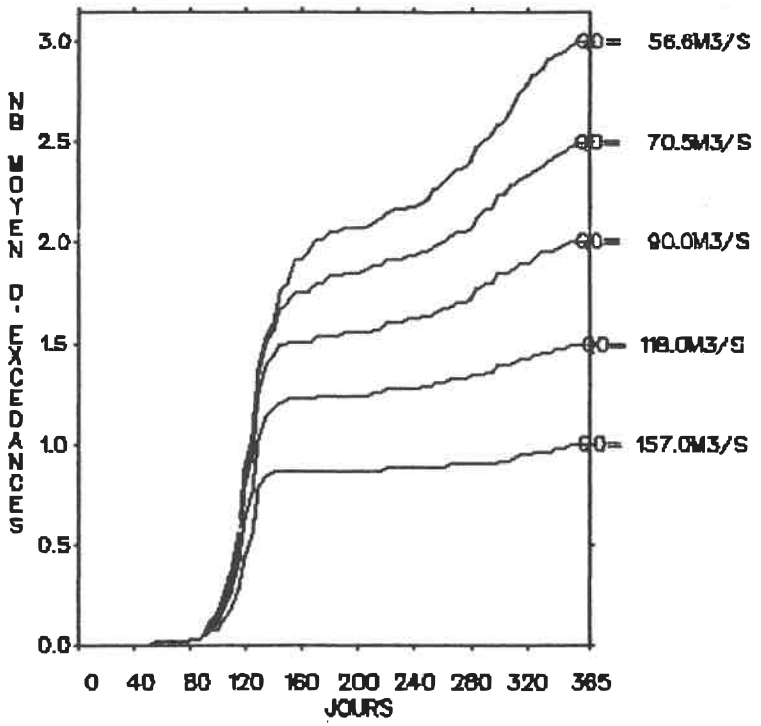


C24.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

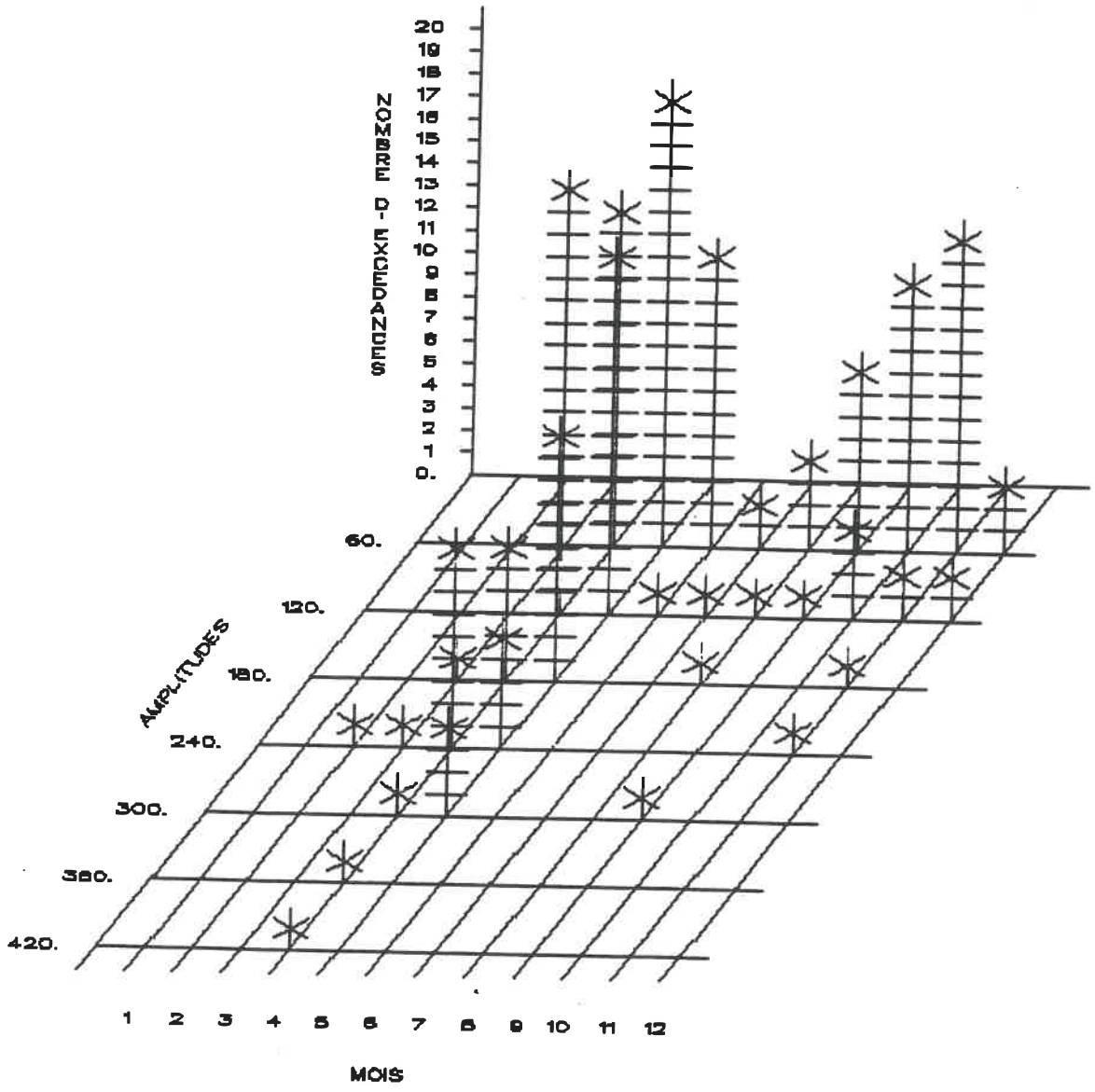




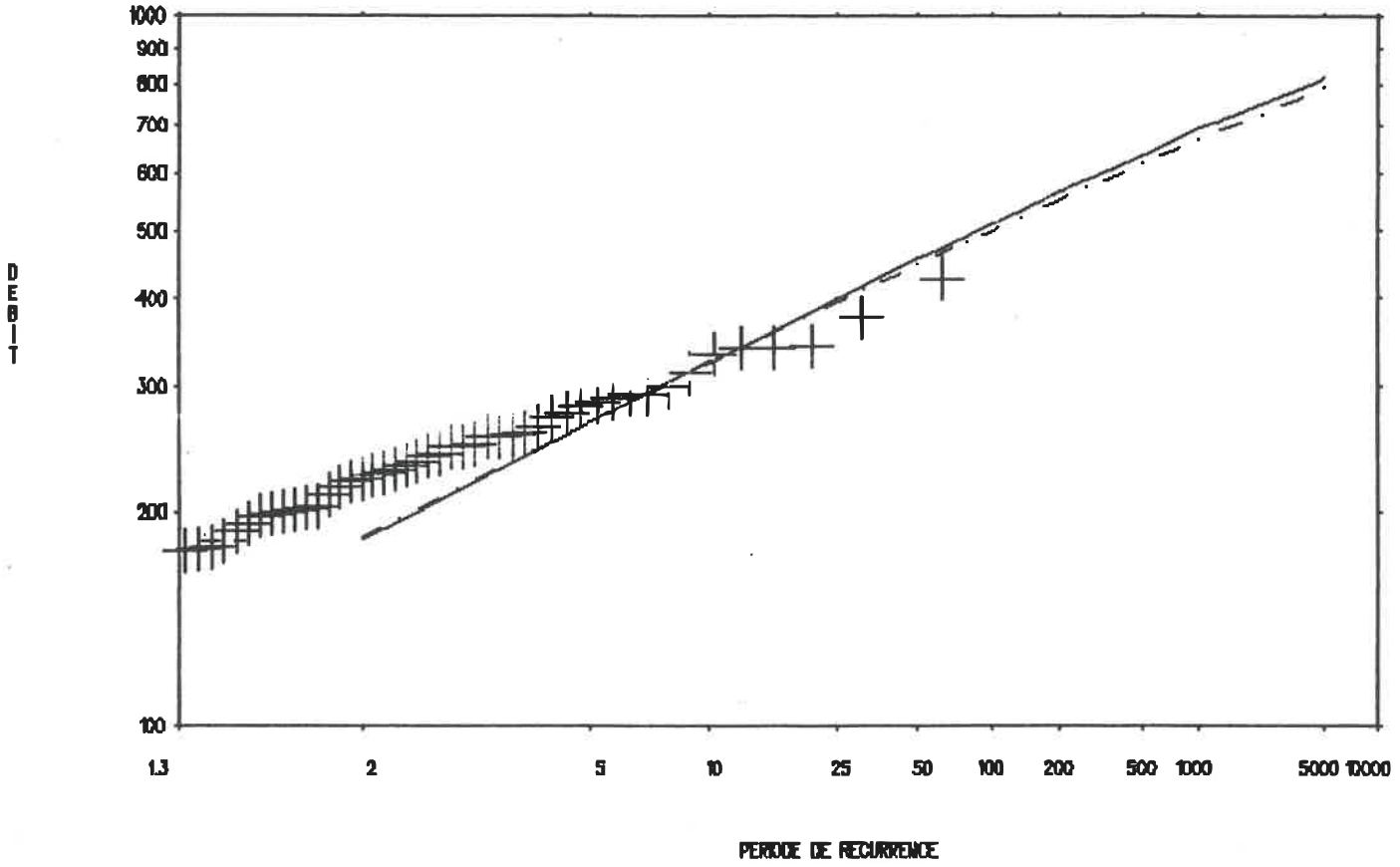
C25.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

C25.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C25 - Station 02QA001



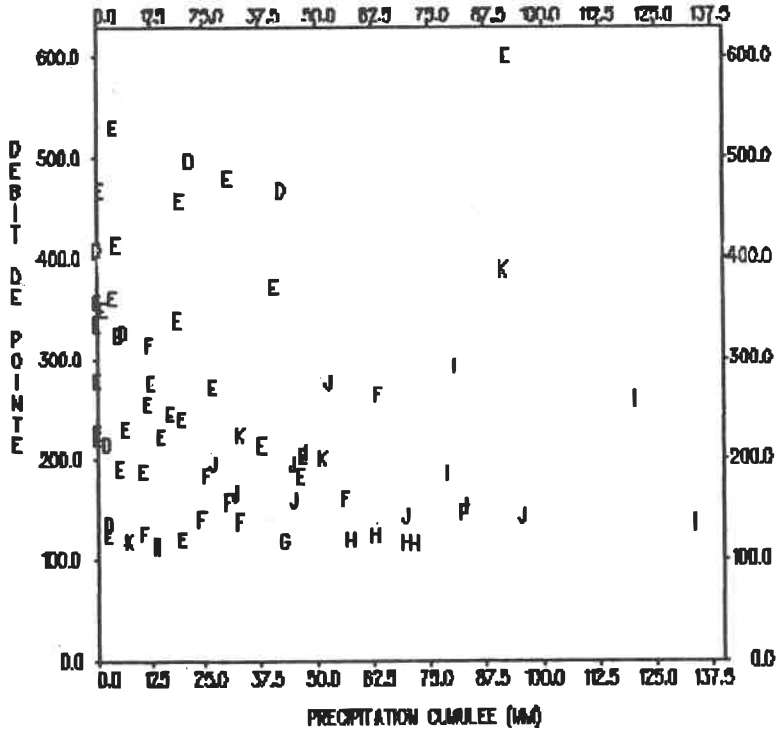
C25.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



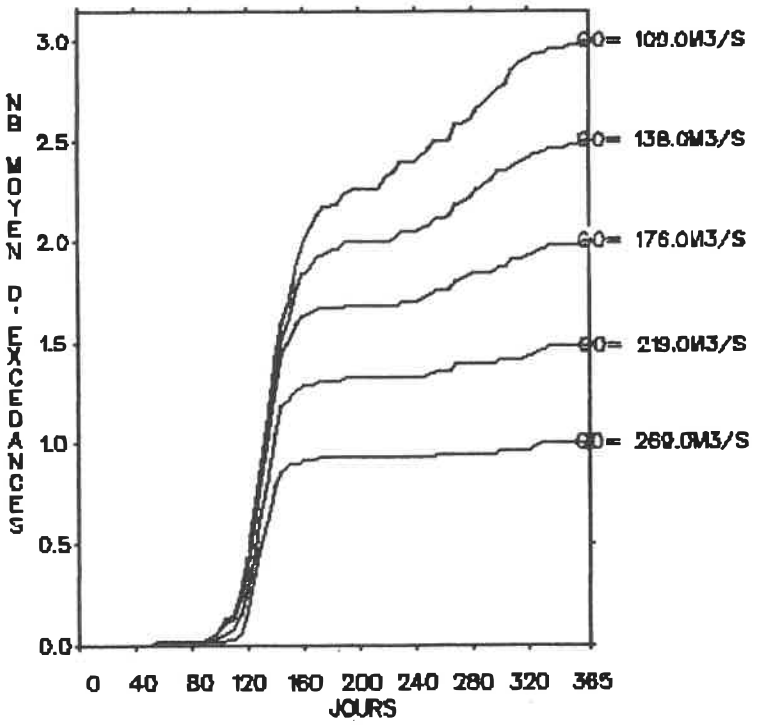
C25.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

—— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

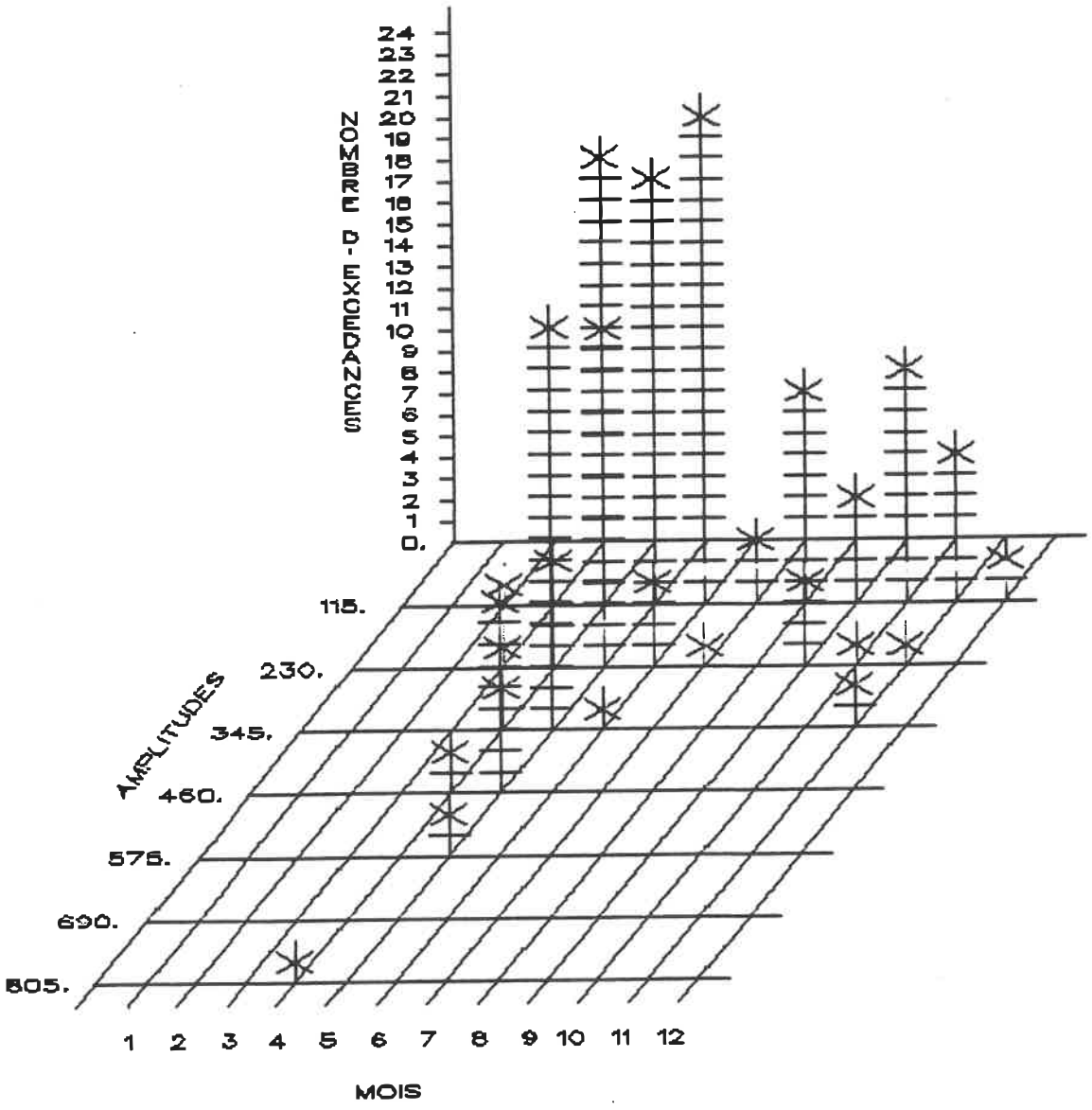


C26.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

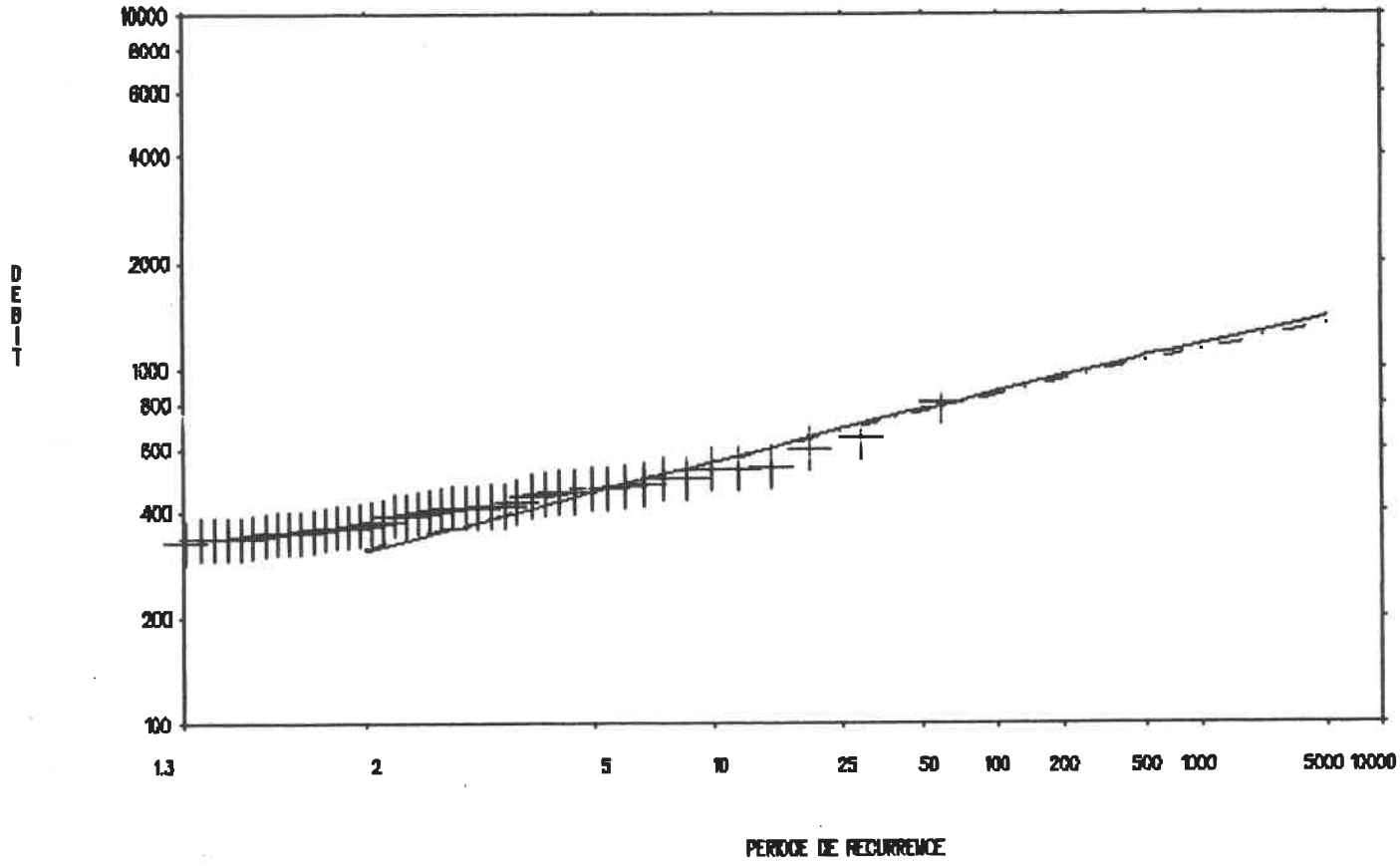


C26.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C26 - Station 020B001



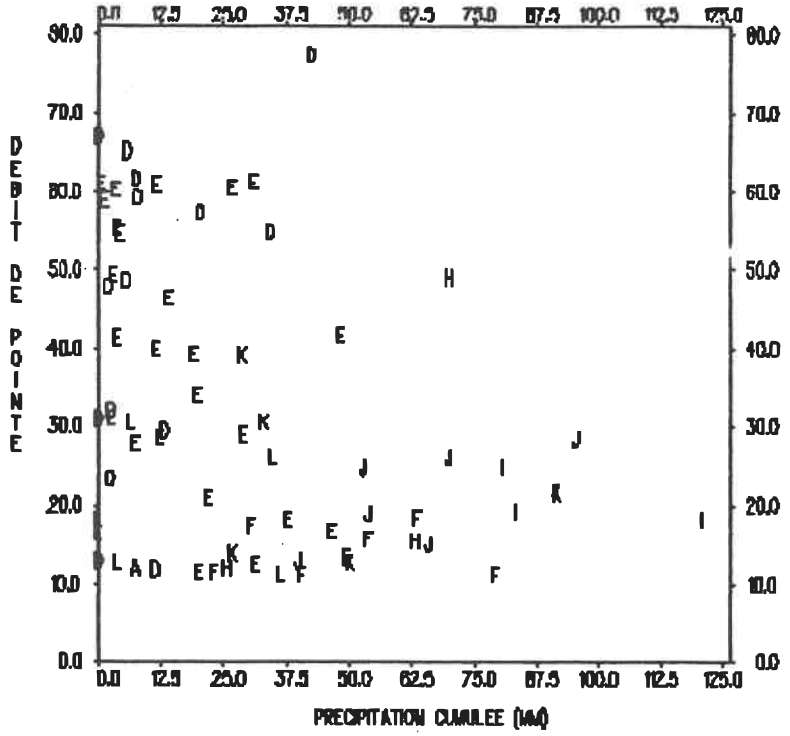
C26.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois

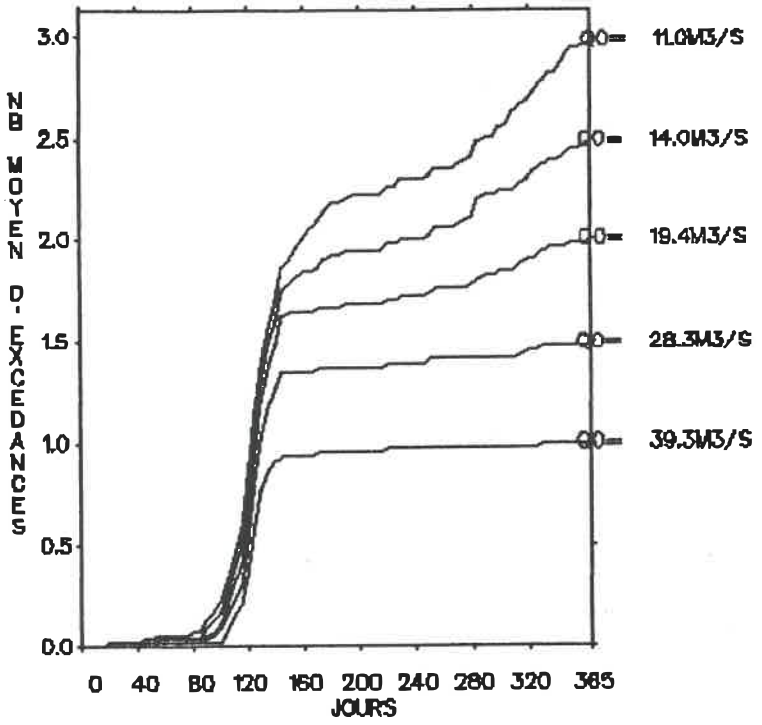


C26.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

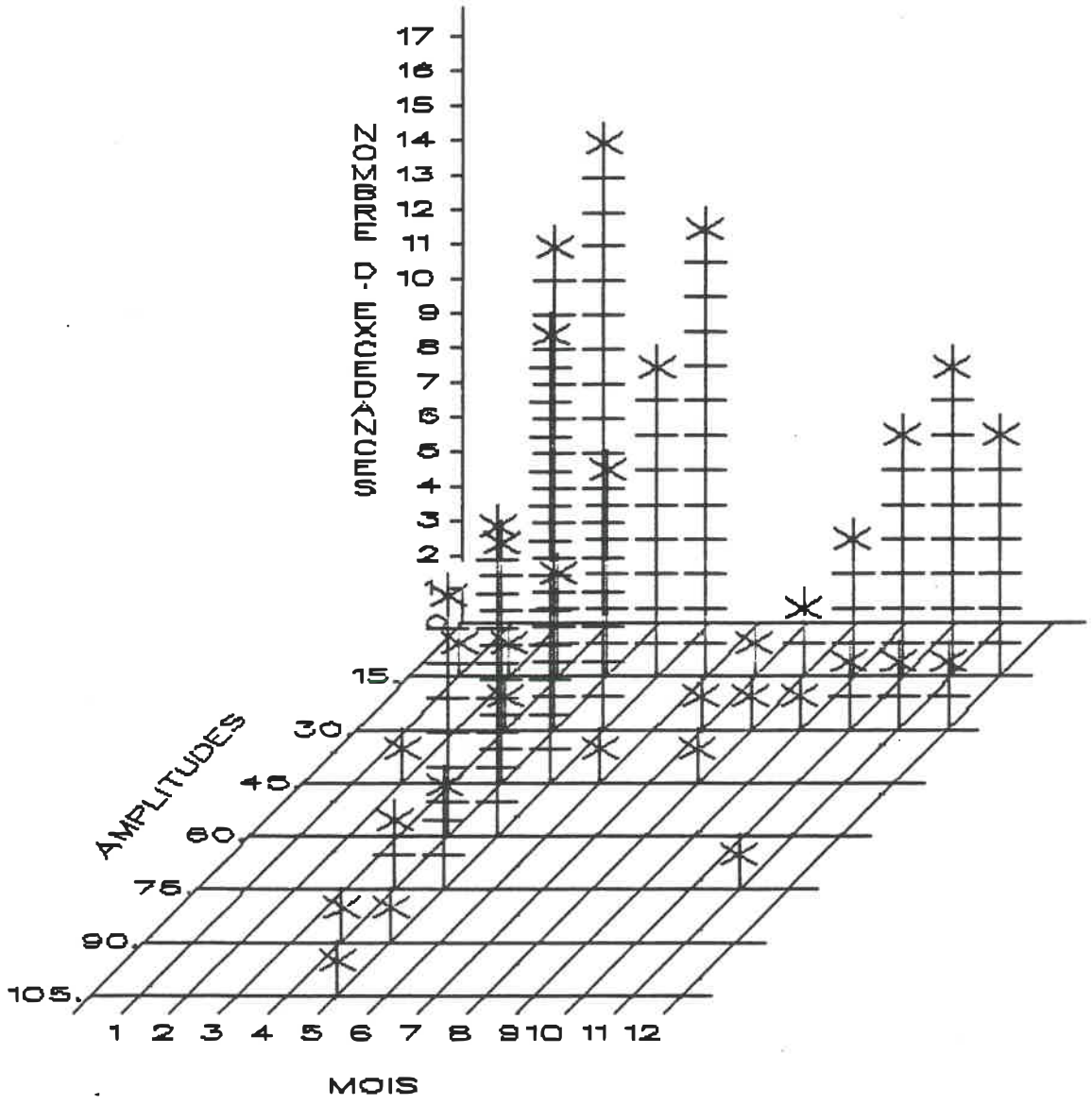




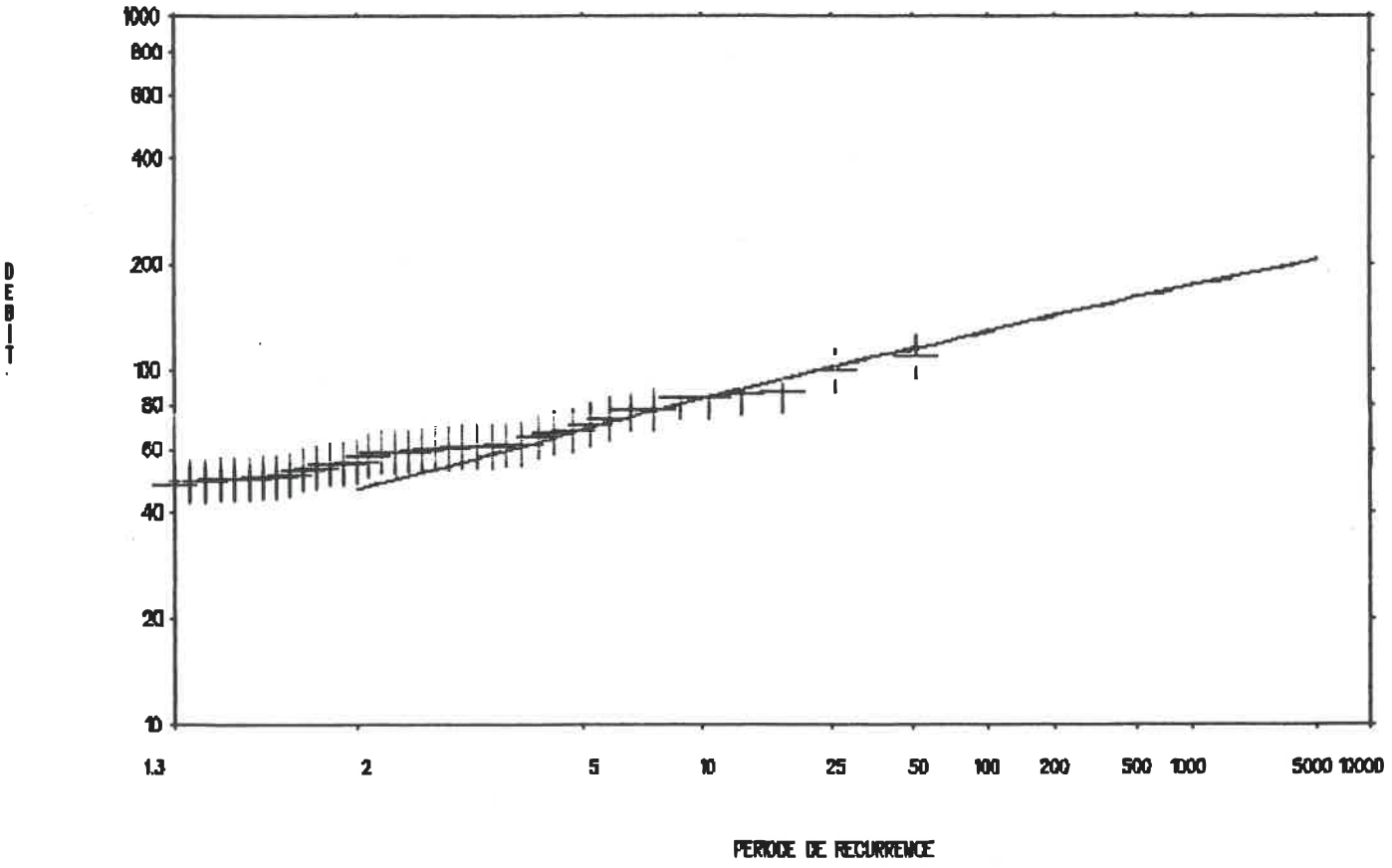
C27.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

C27.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C27 - Stations 02QB003 + 02QB005



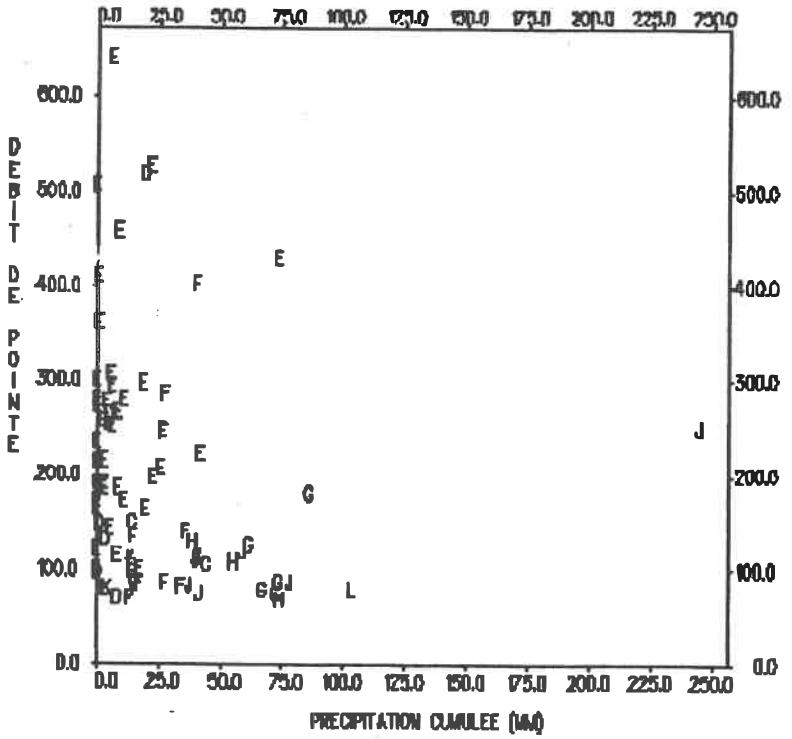
C27.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



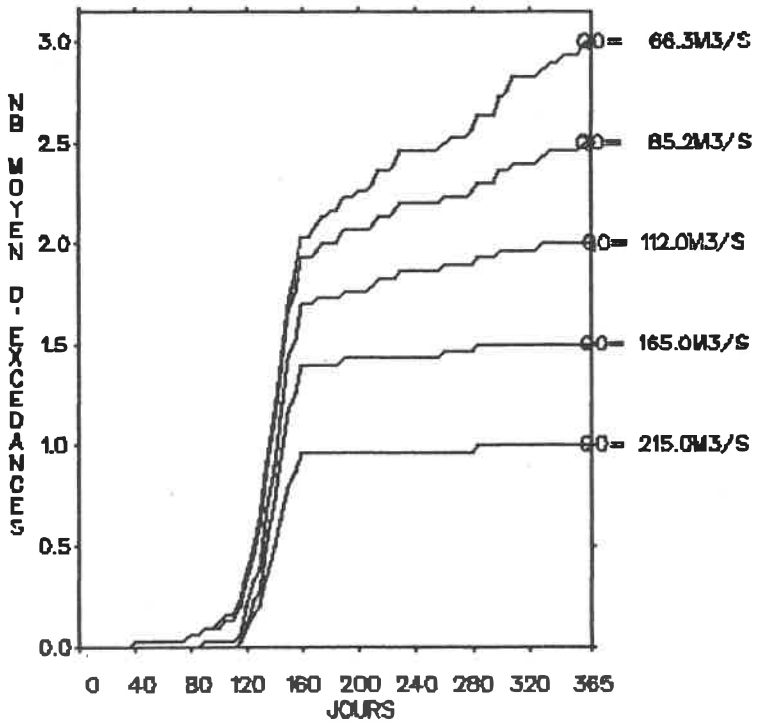
C27.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

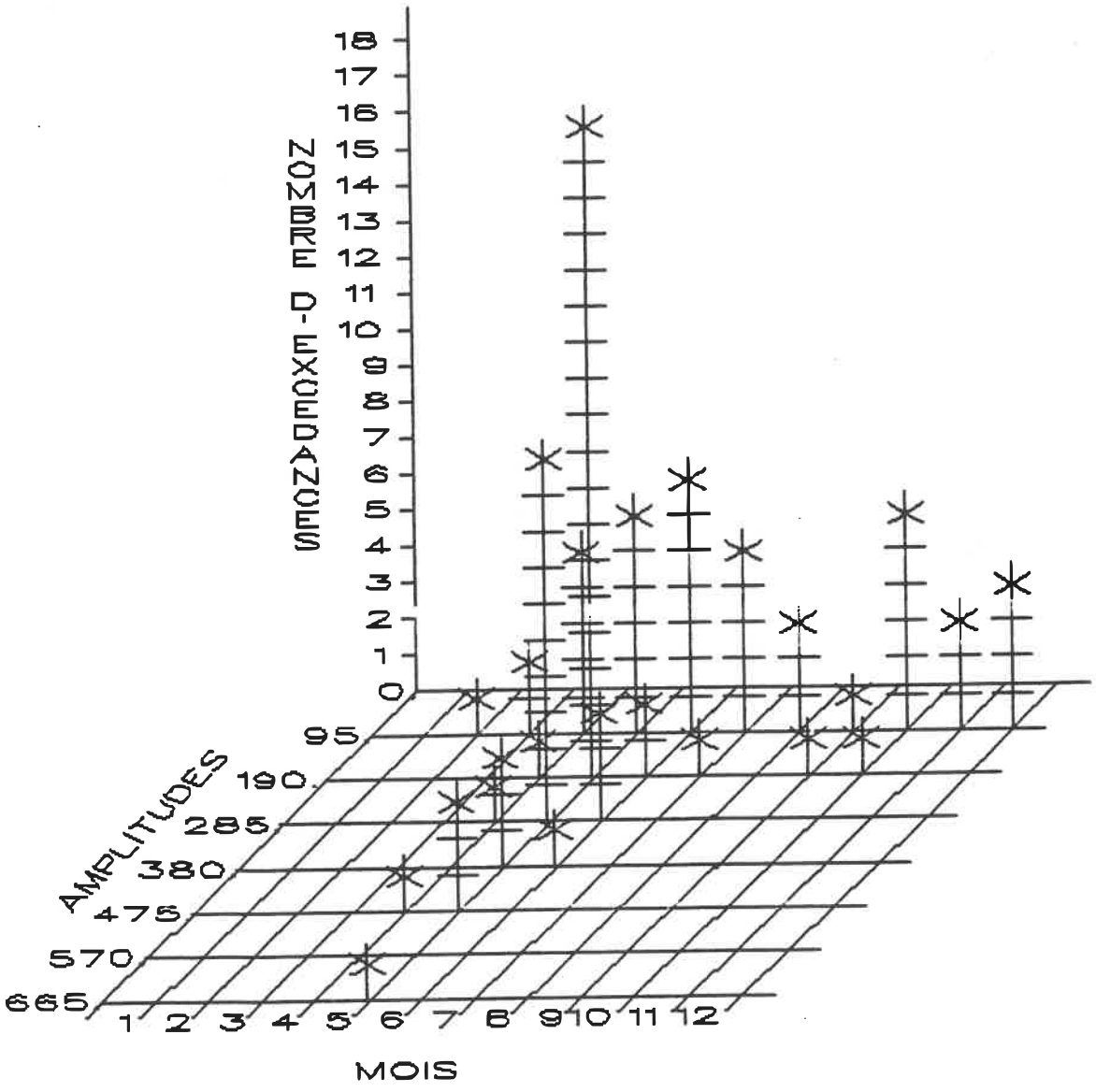


C28.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

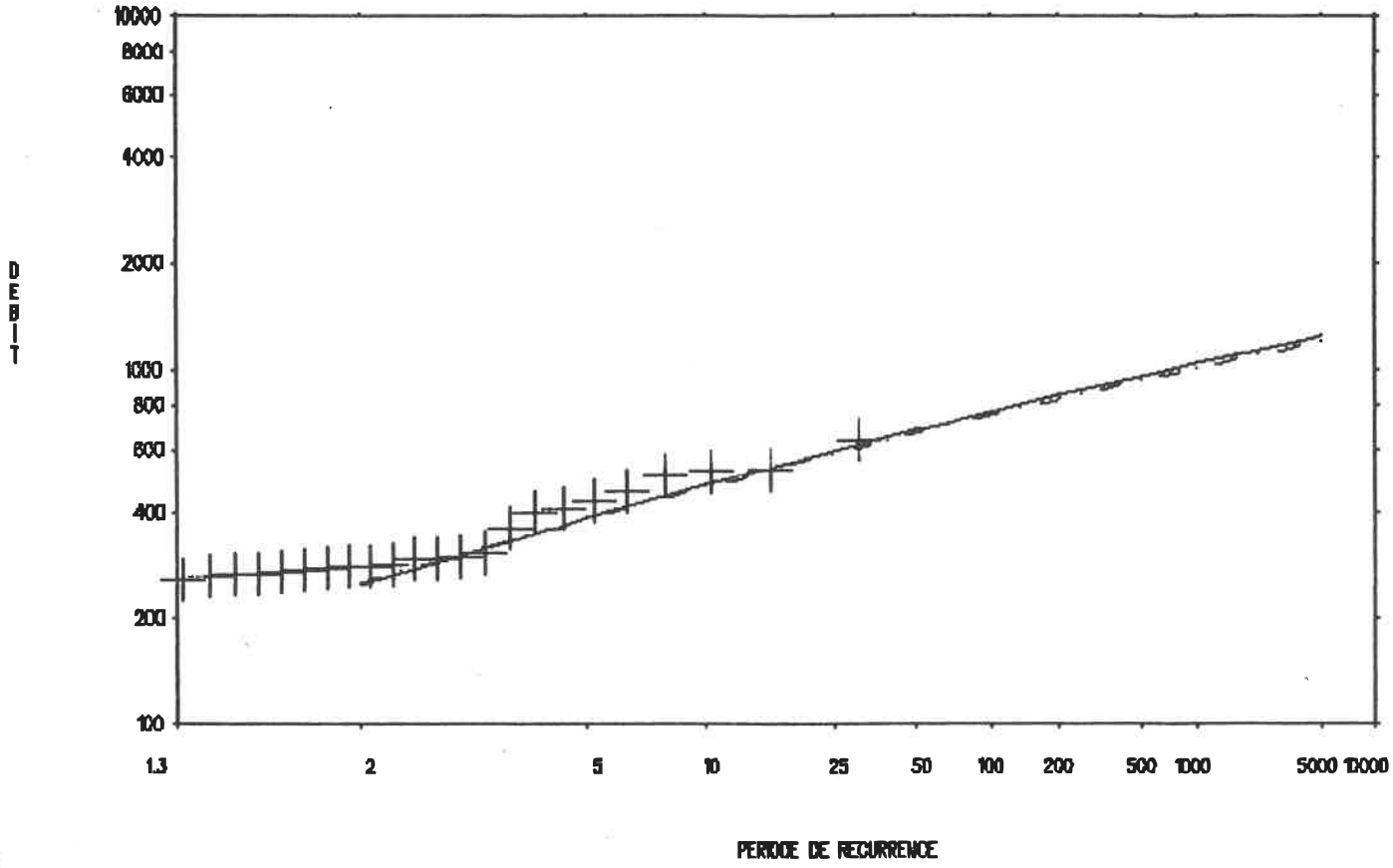


C28.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C28 - Station 02QC001



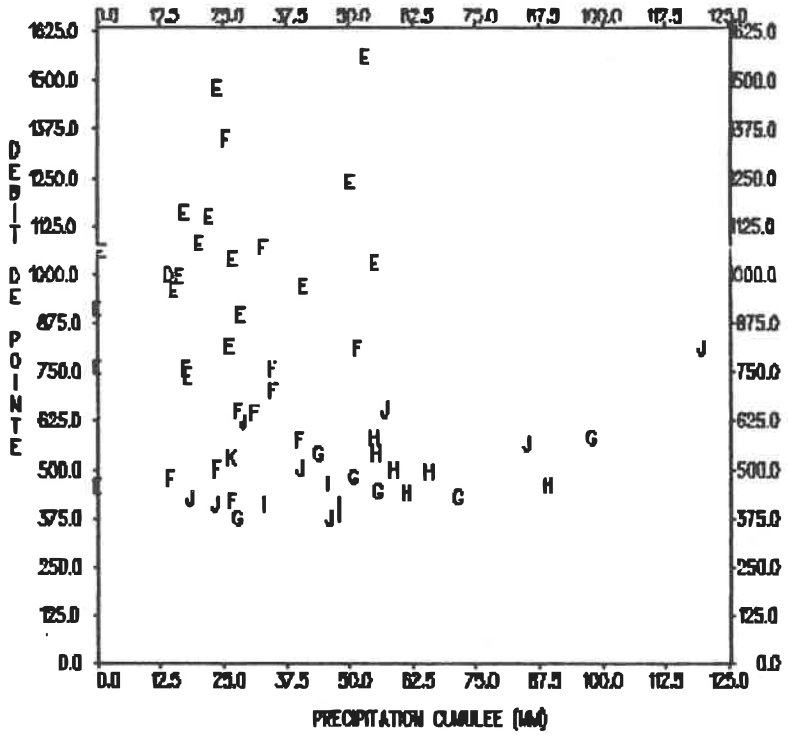
C28.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



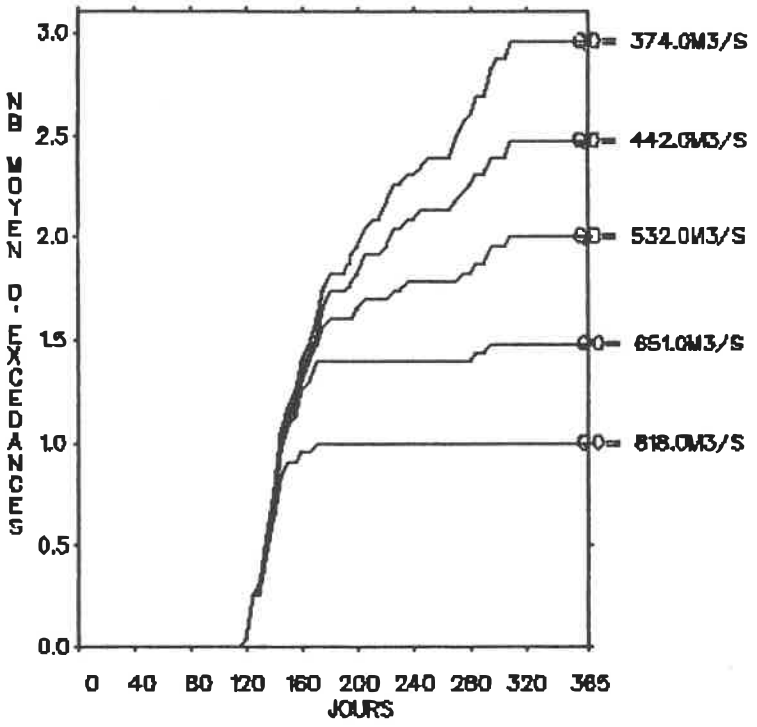
C28.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

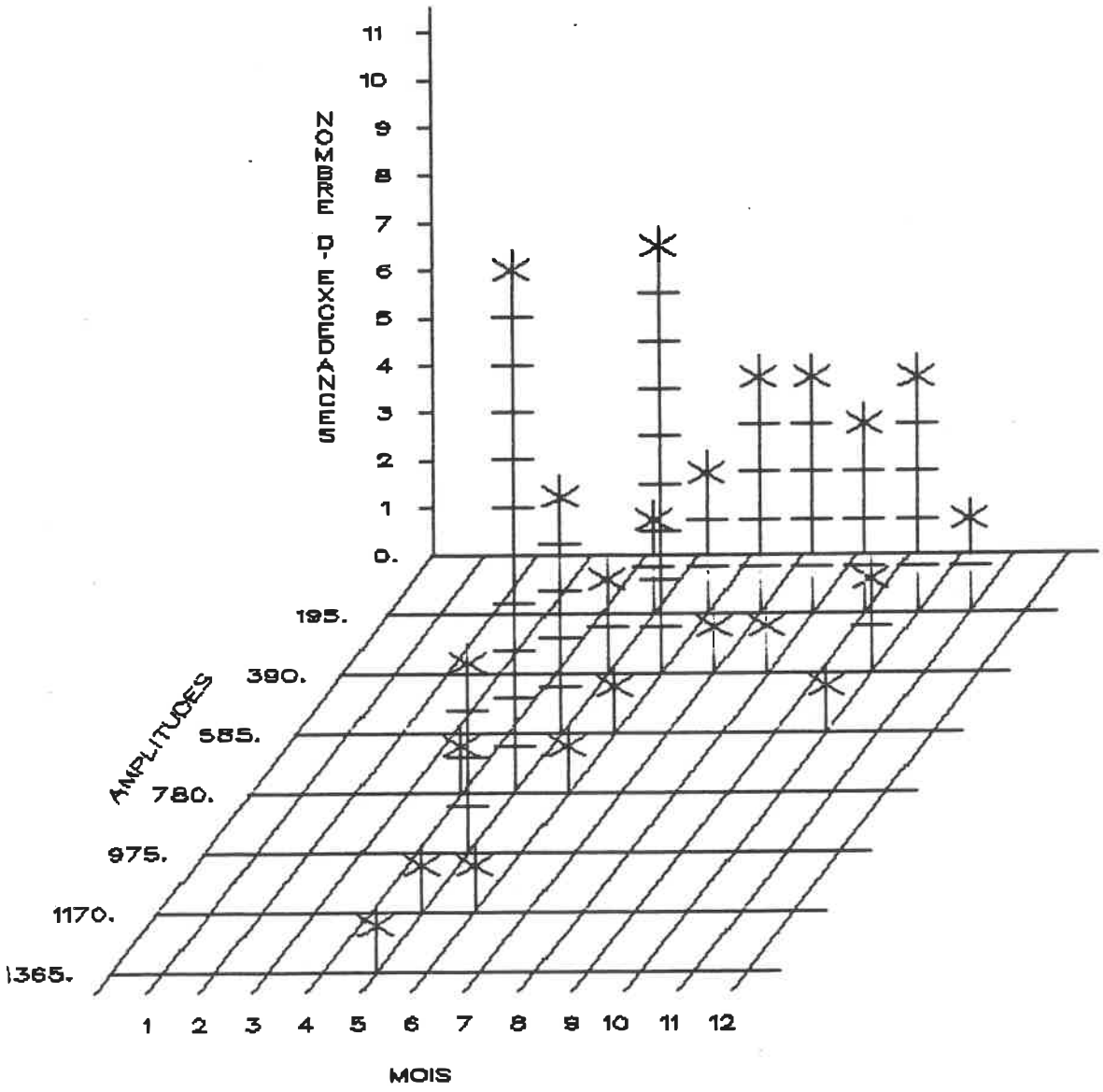


C29.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

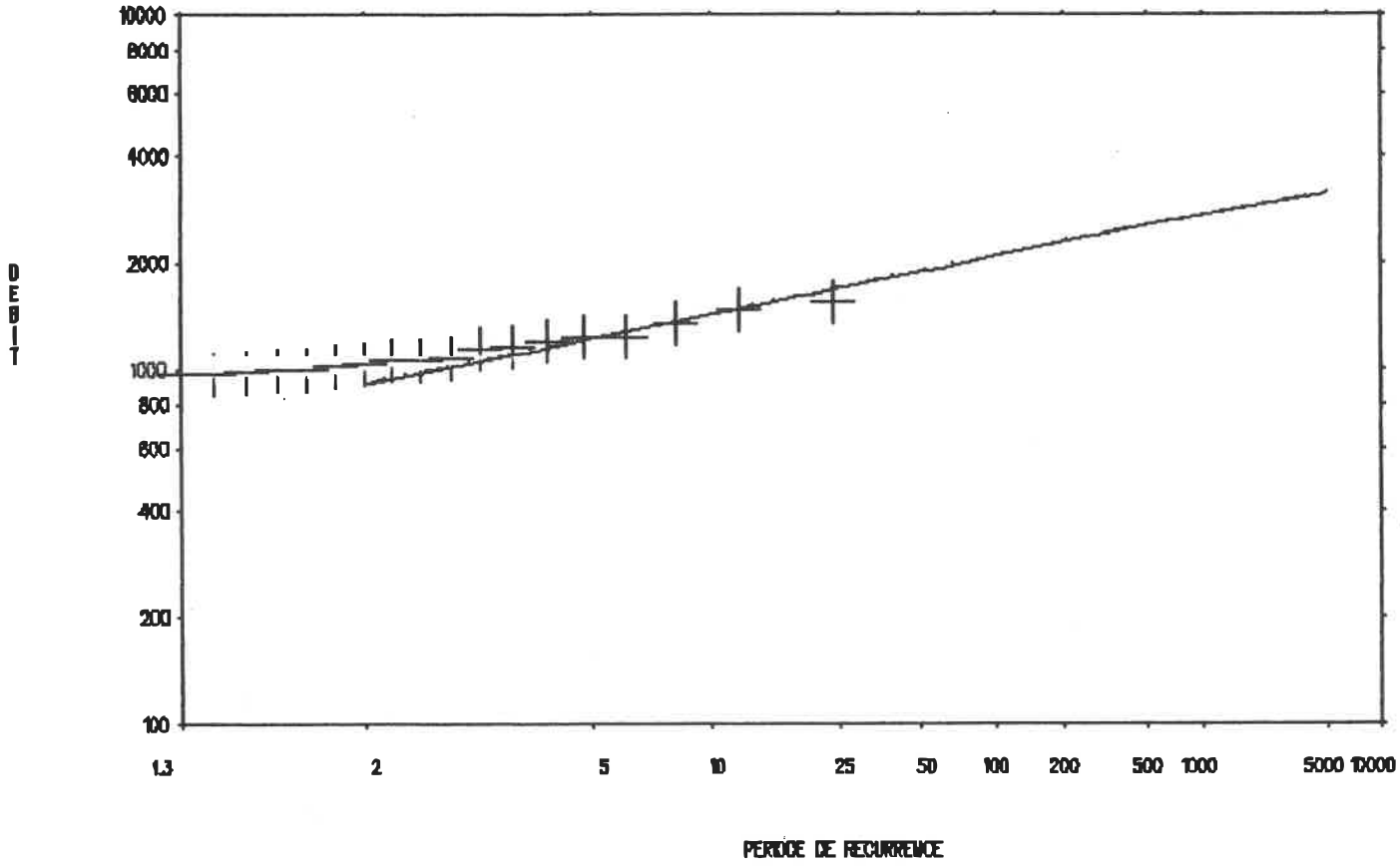


C29.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C29 - Station 02RD002



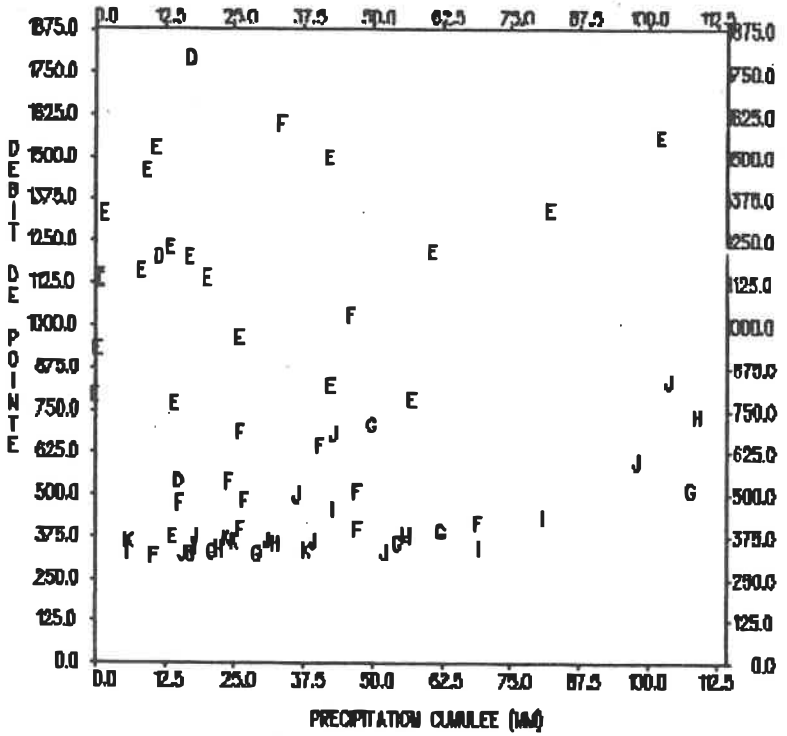
C29.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois

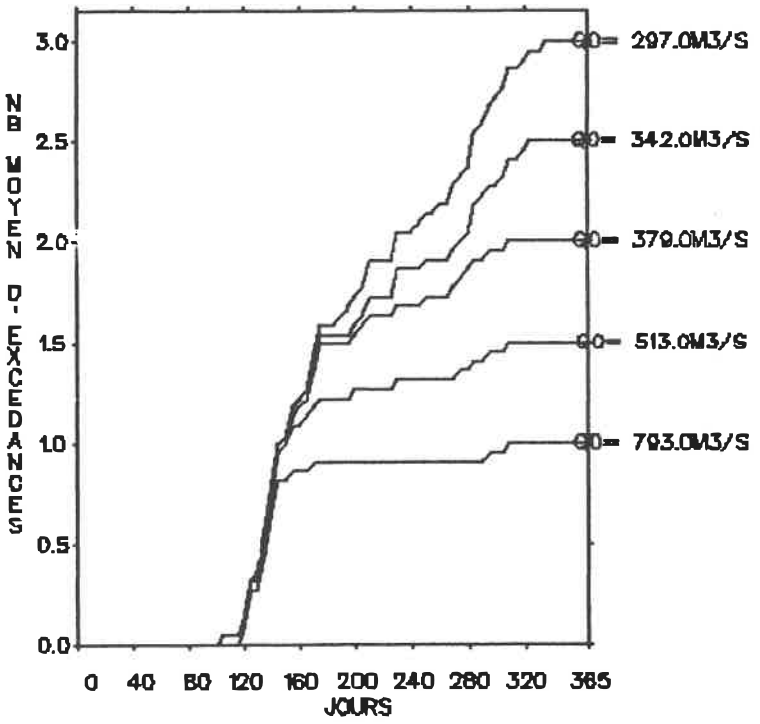


C29.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

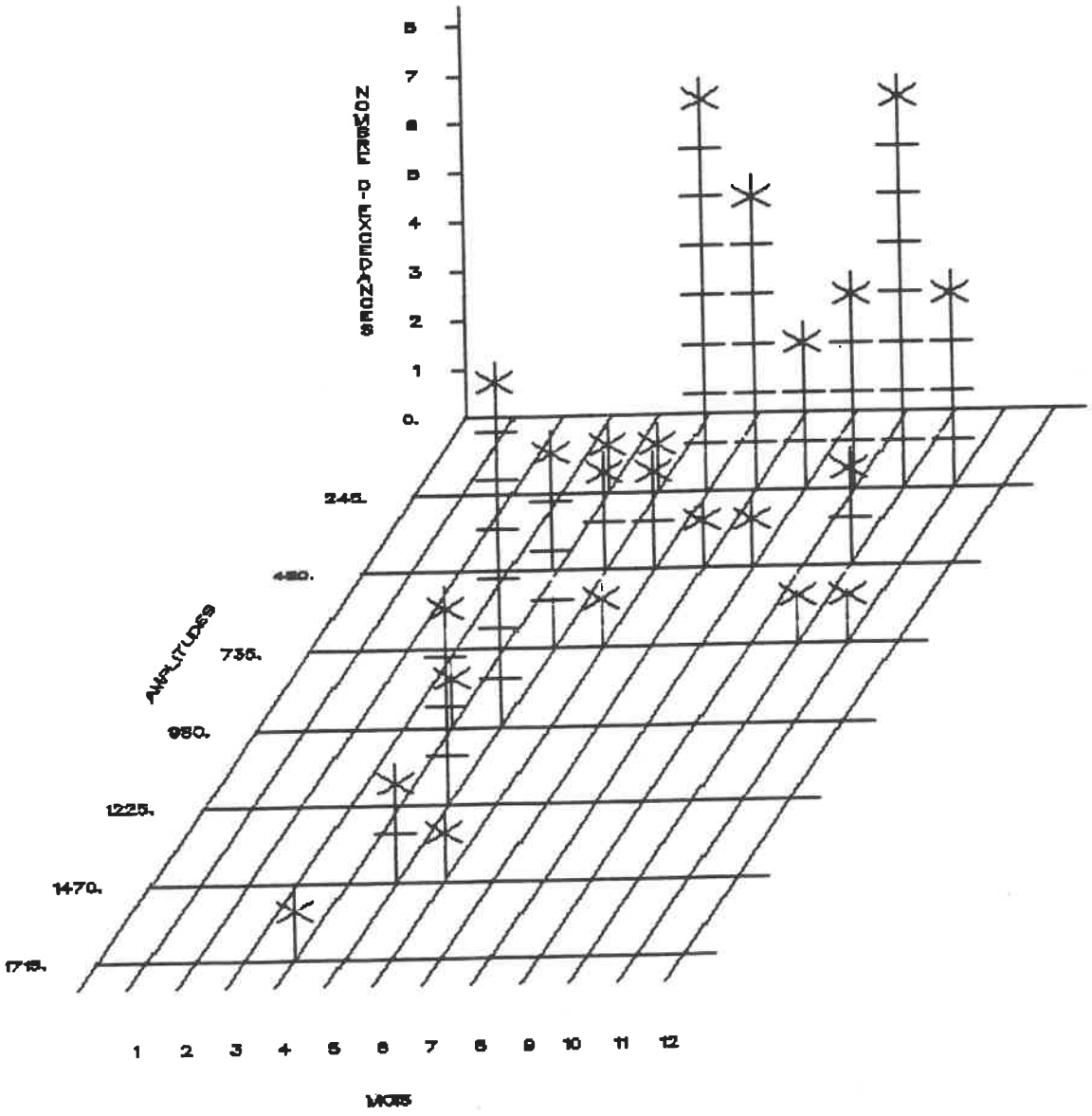




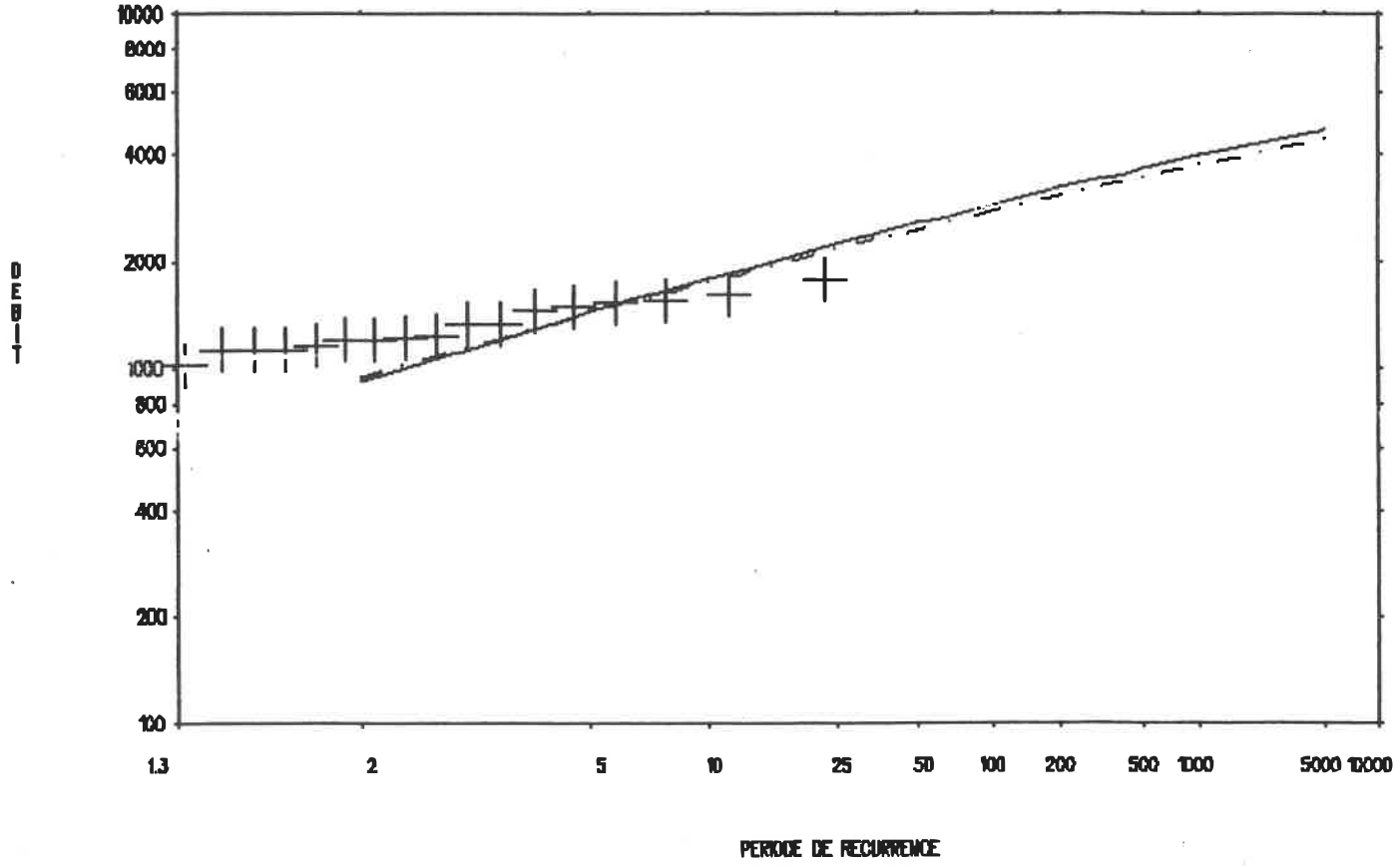
C30.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

C30.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C30 - Station 02RD003



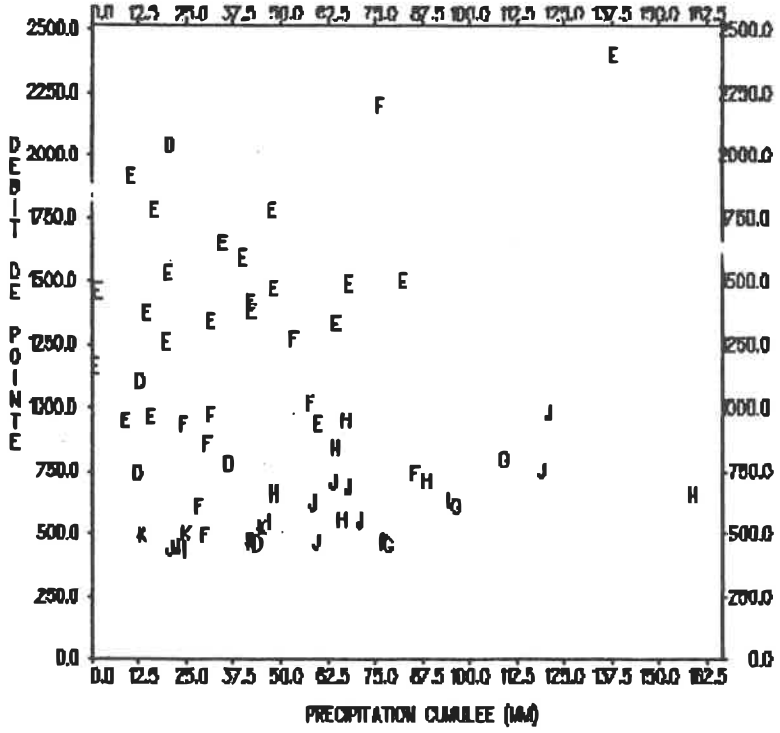
C30.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois

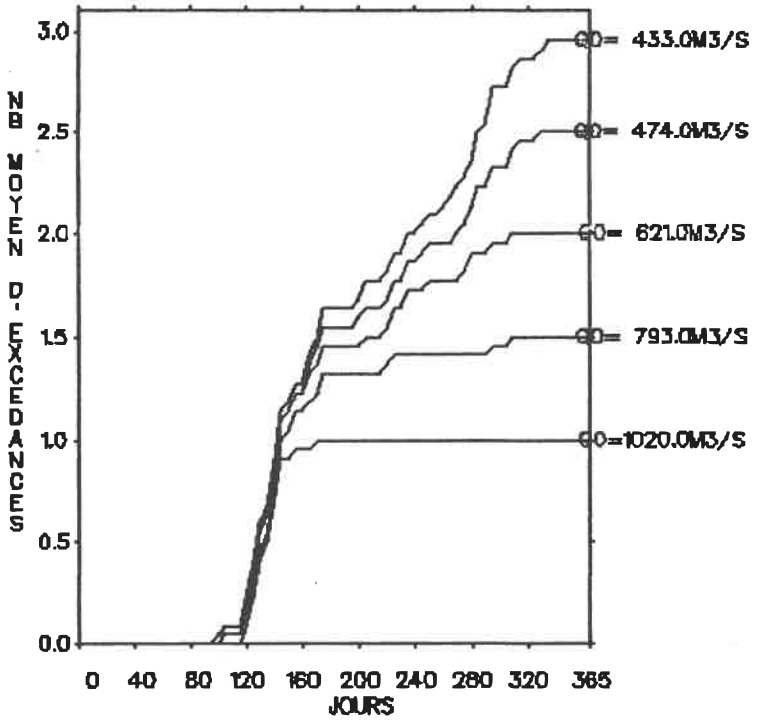


C30.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

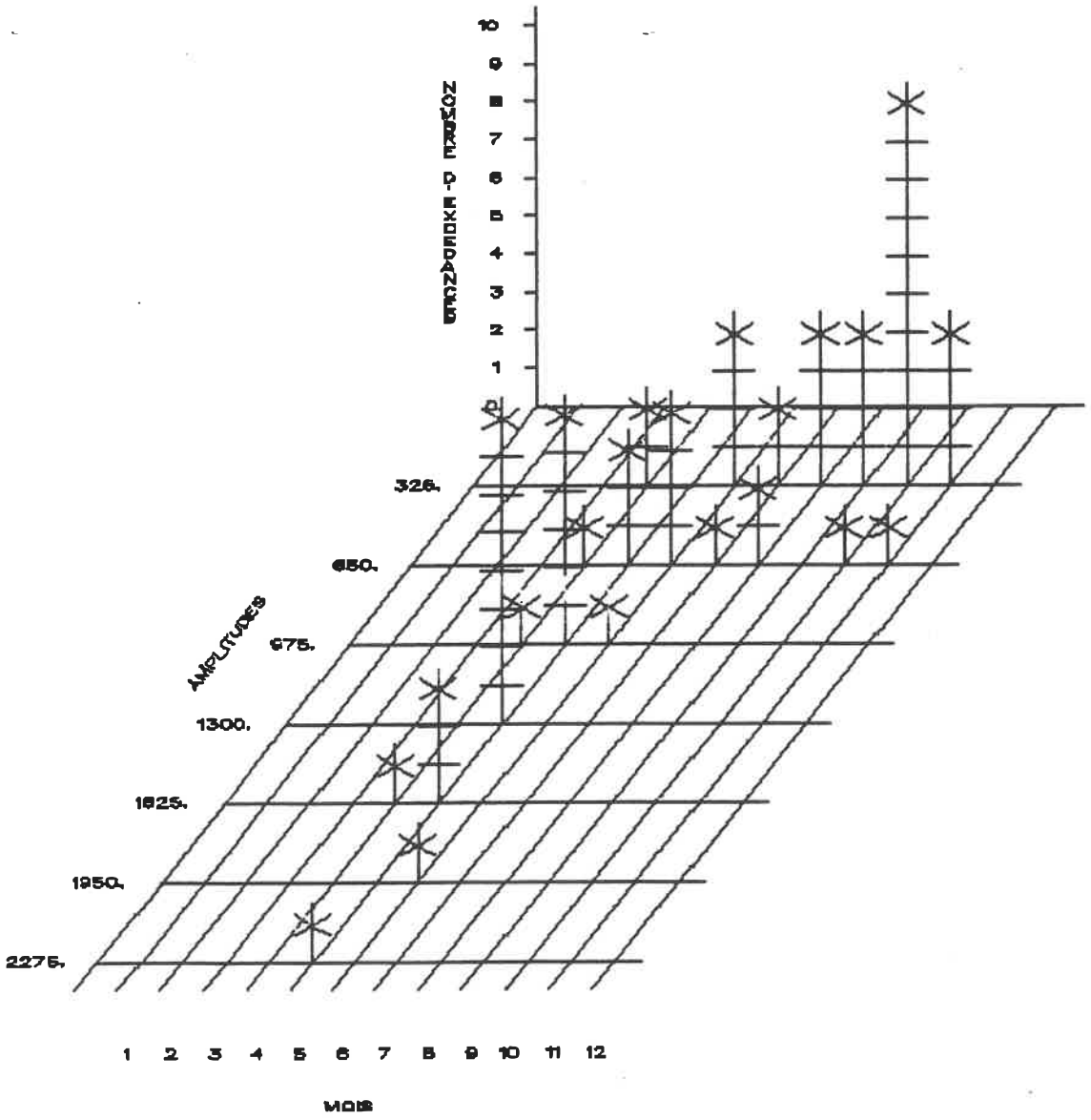




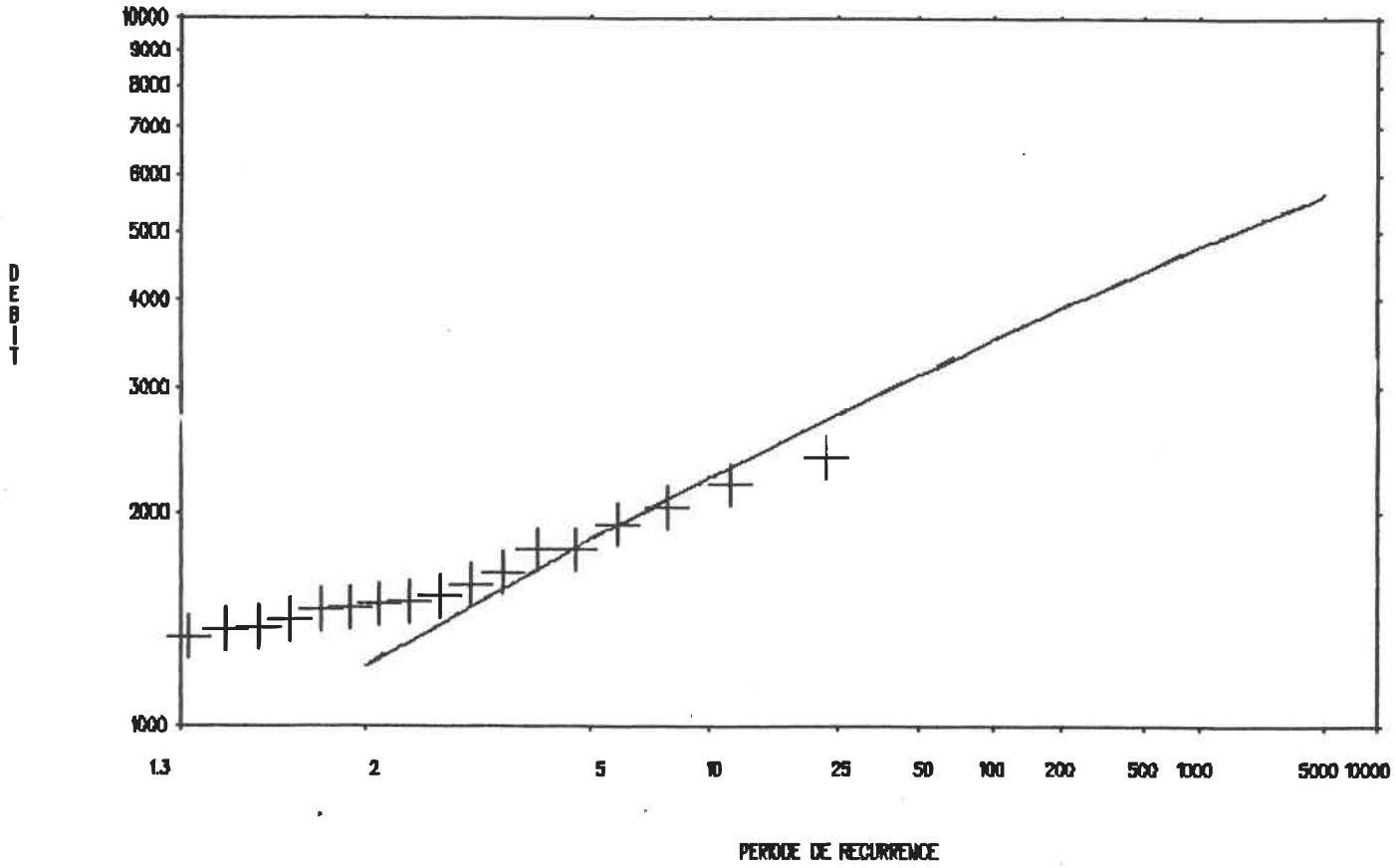
C31.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

C31.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C31 - Station 02RF001



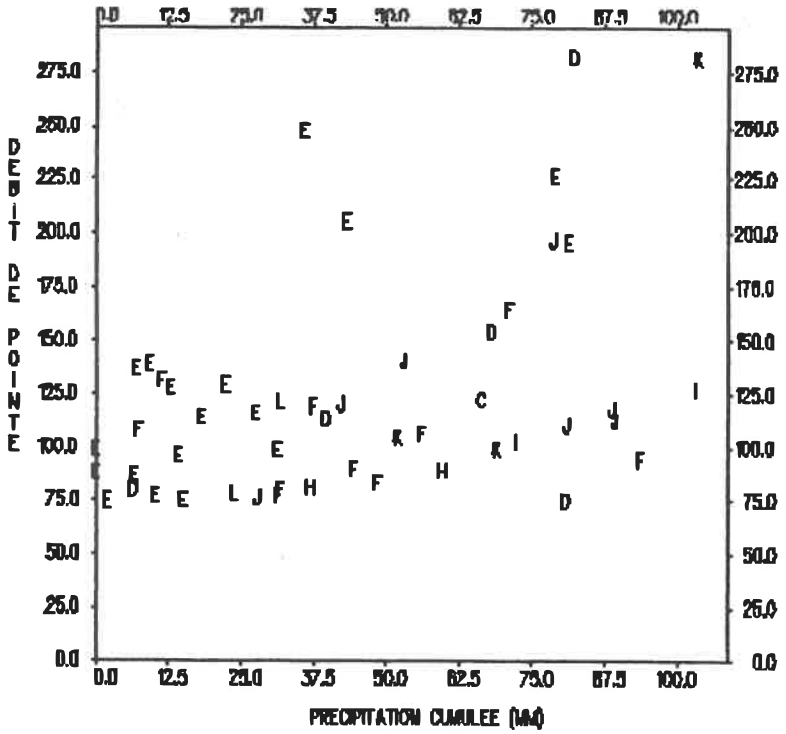
C31.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois

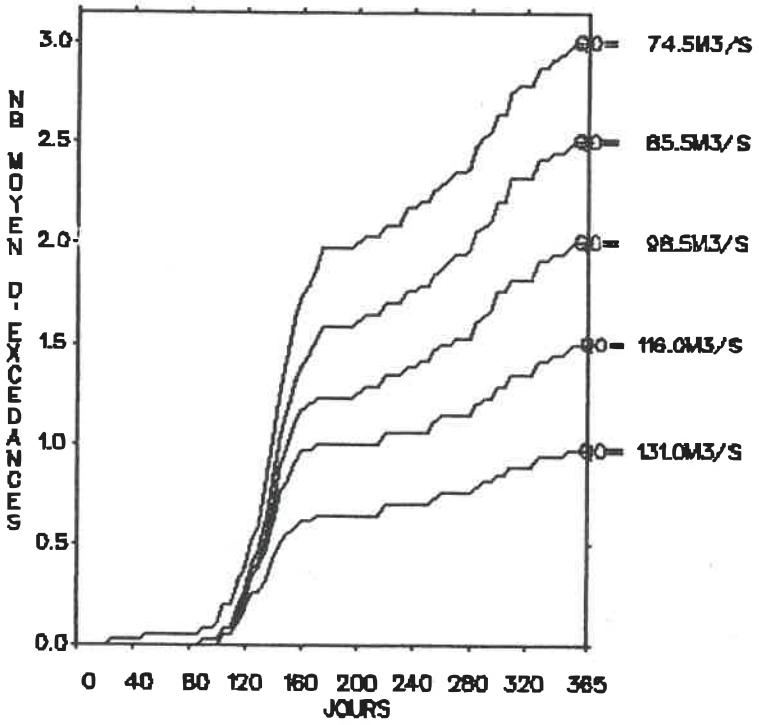


C31.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

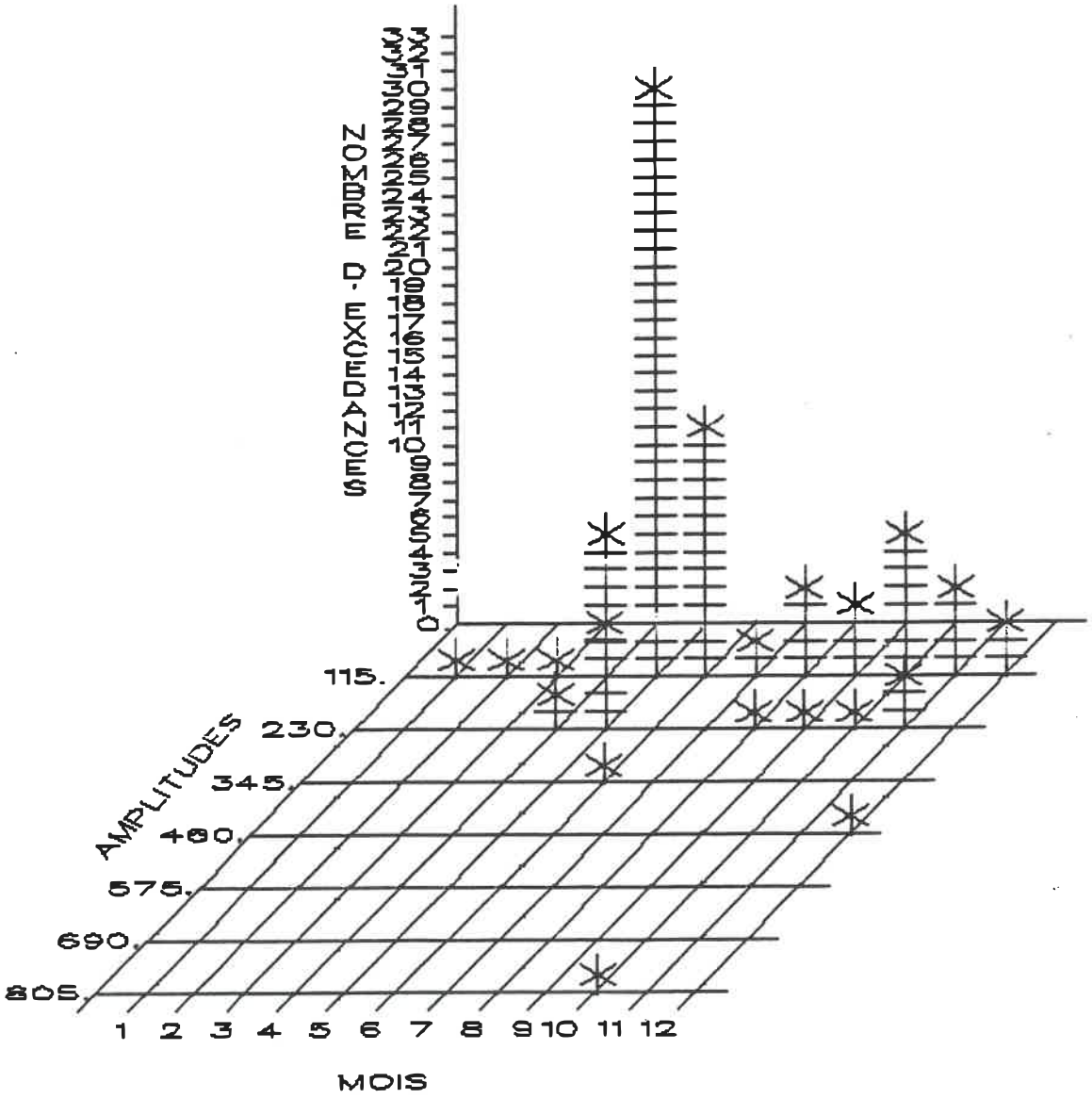




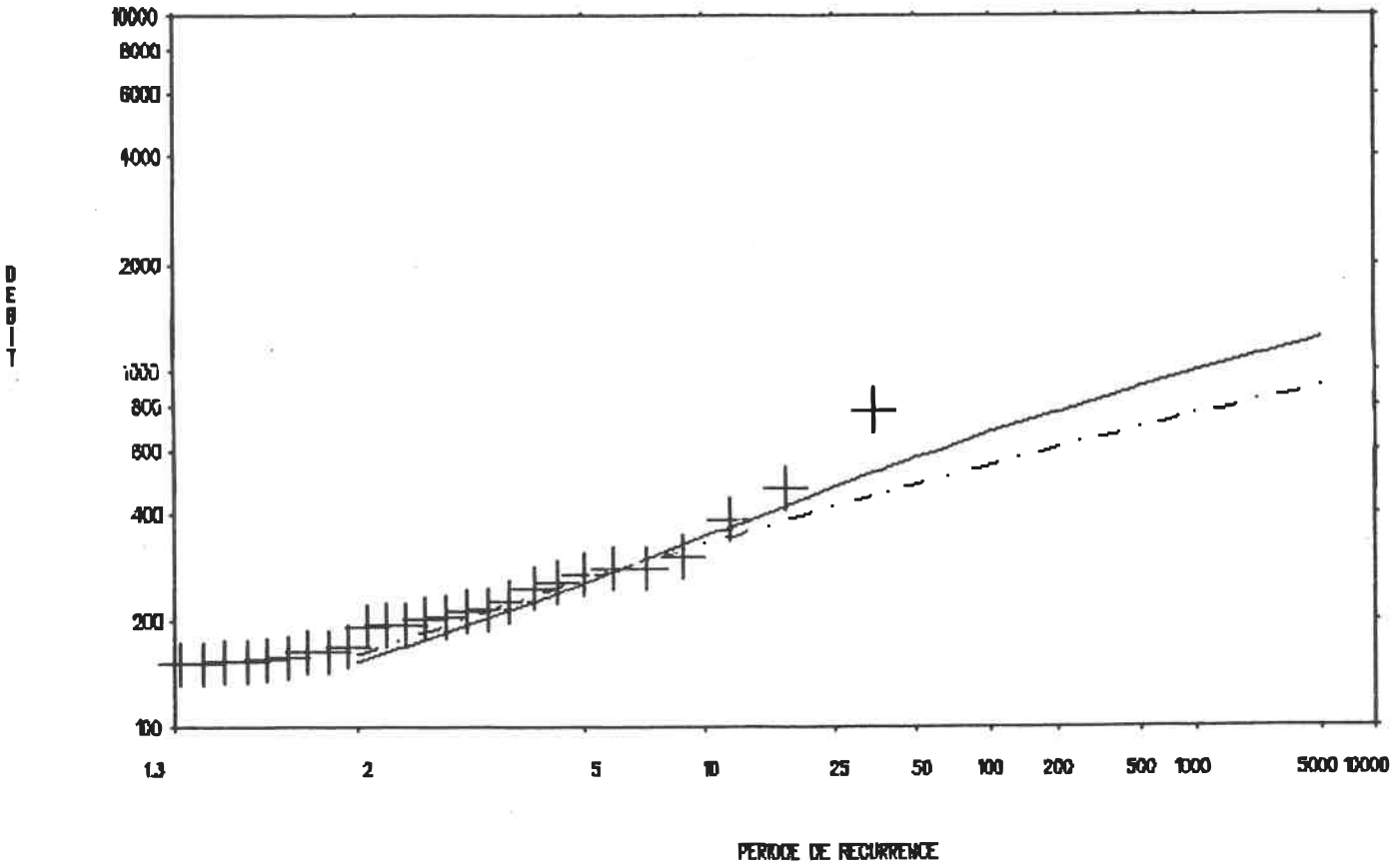
C32.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

C32.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C32 - Stations 02VA001



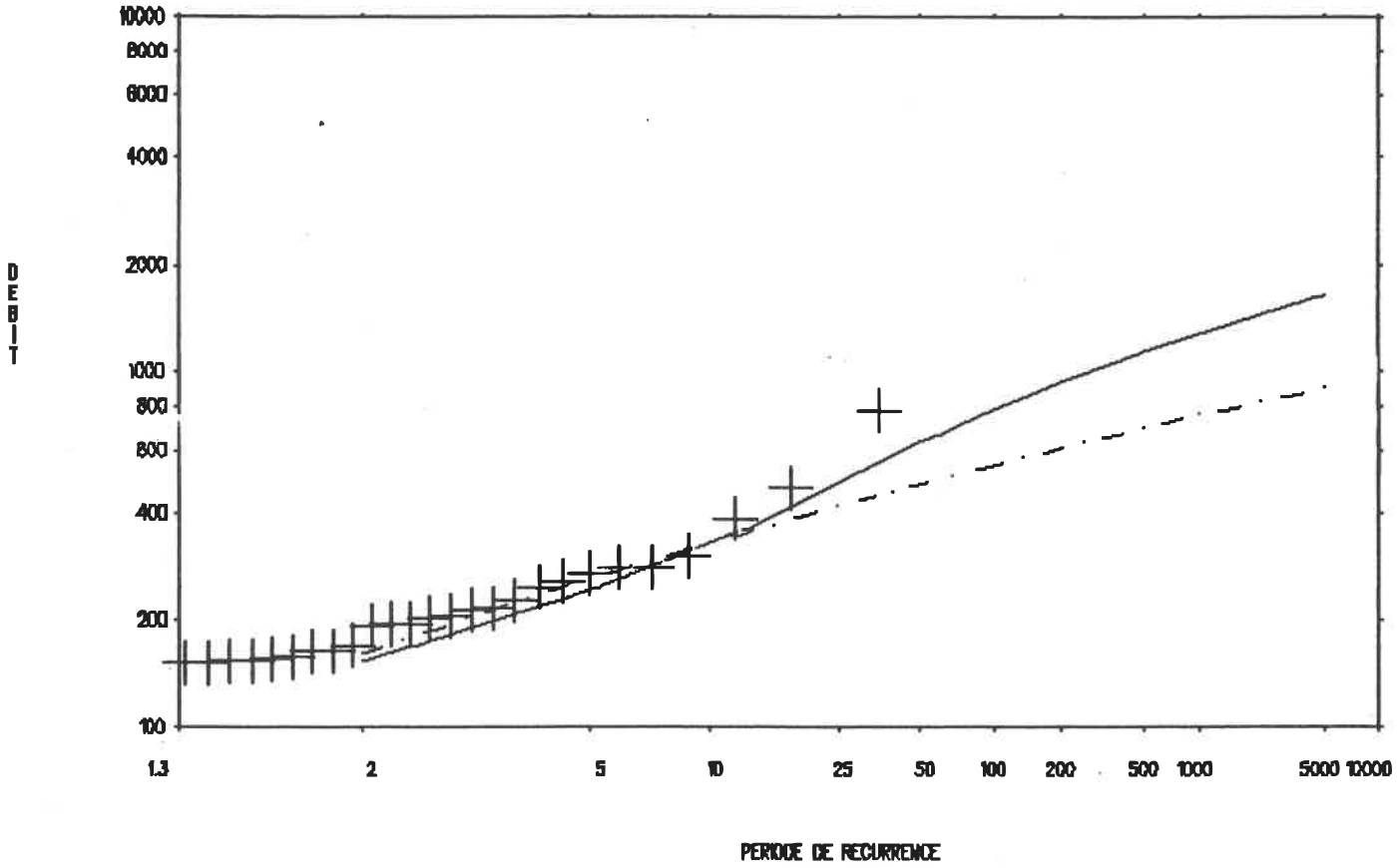
C32.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



C32.e - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

—— découpage selon les phénomènes générateurs

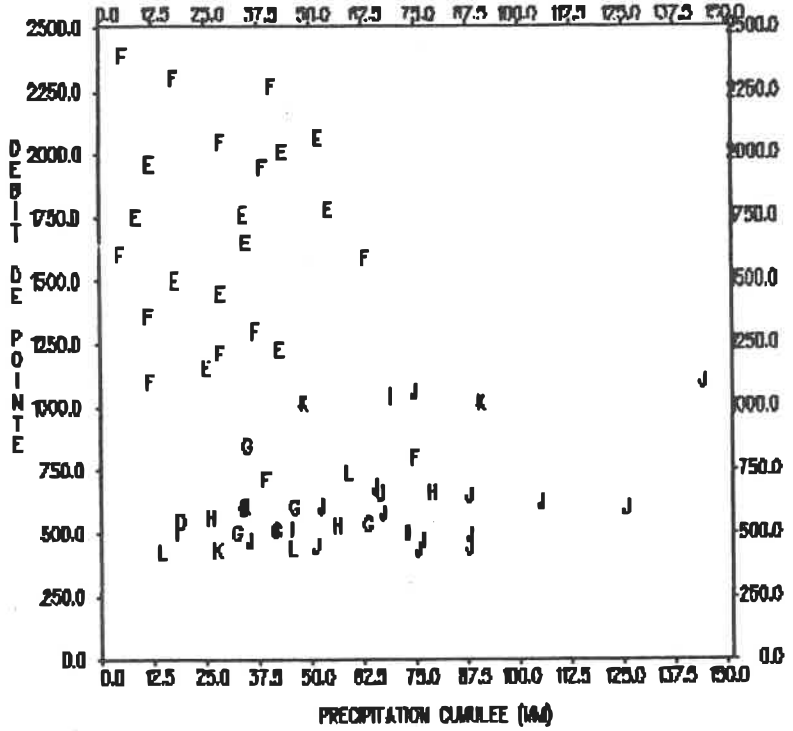
– – analyse annuelle



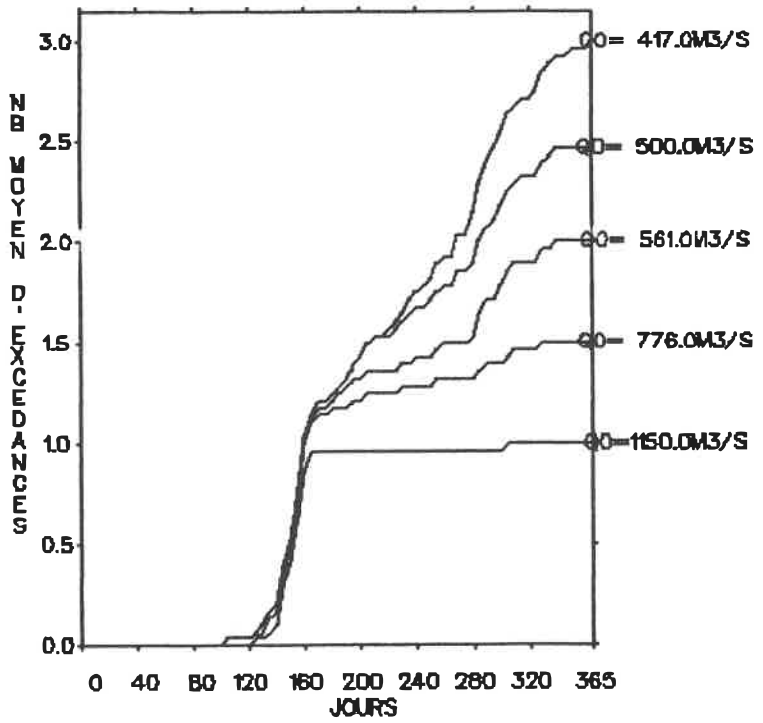
C32.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

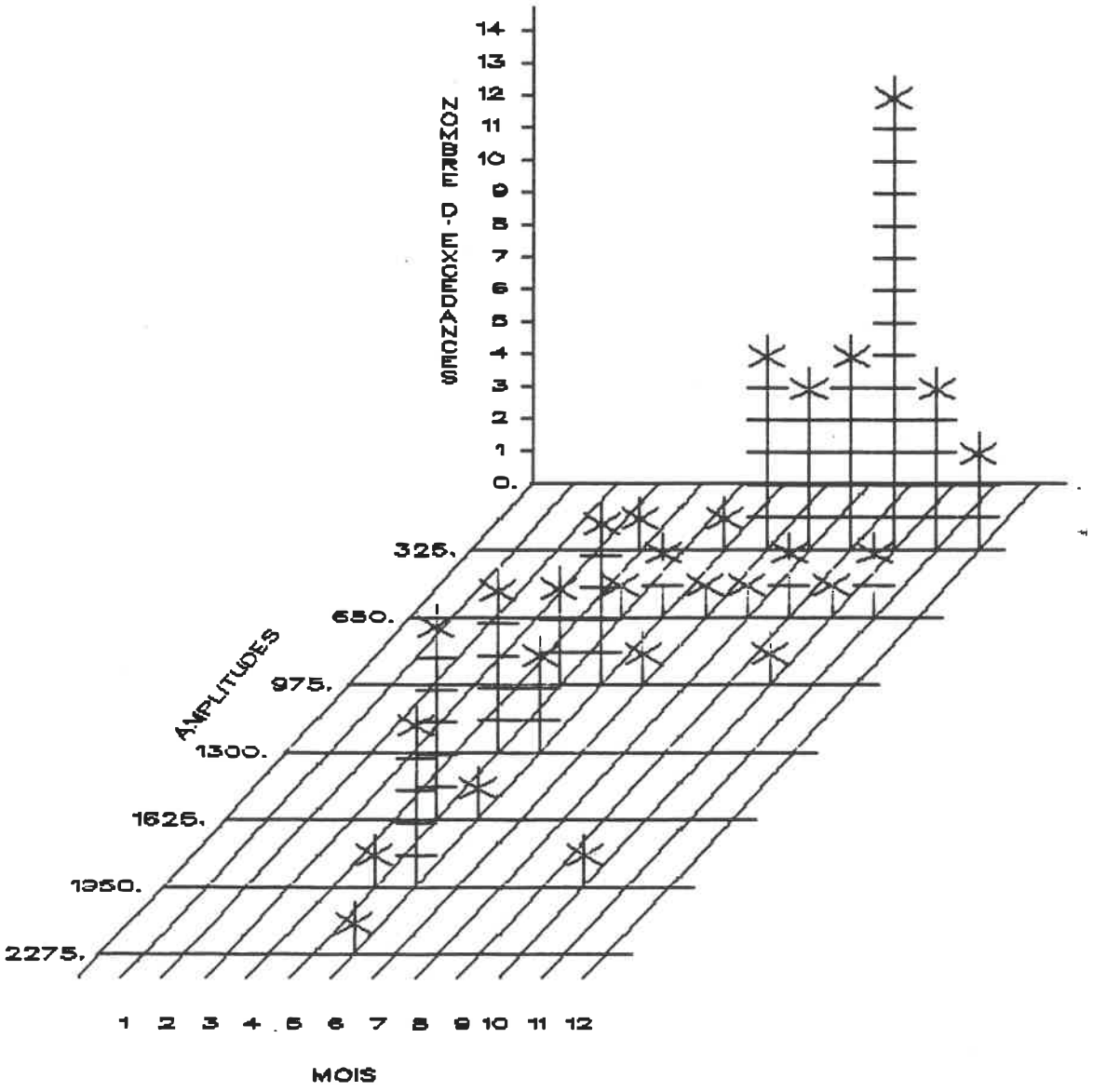


C33.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

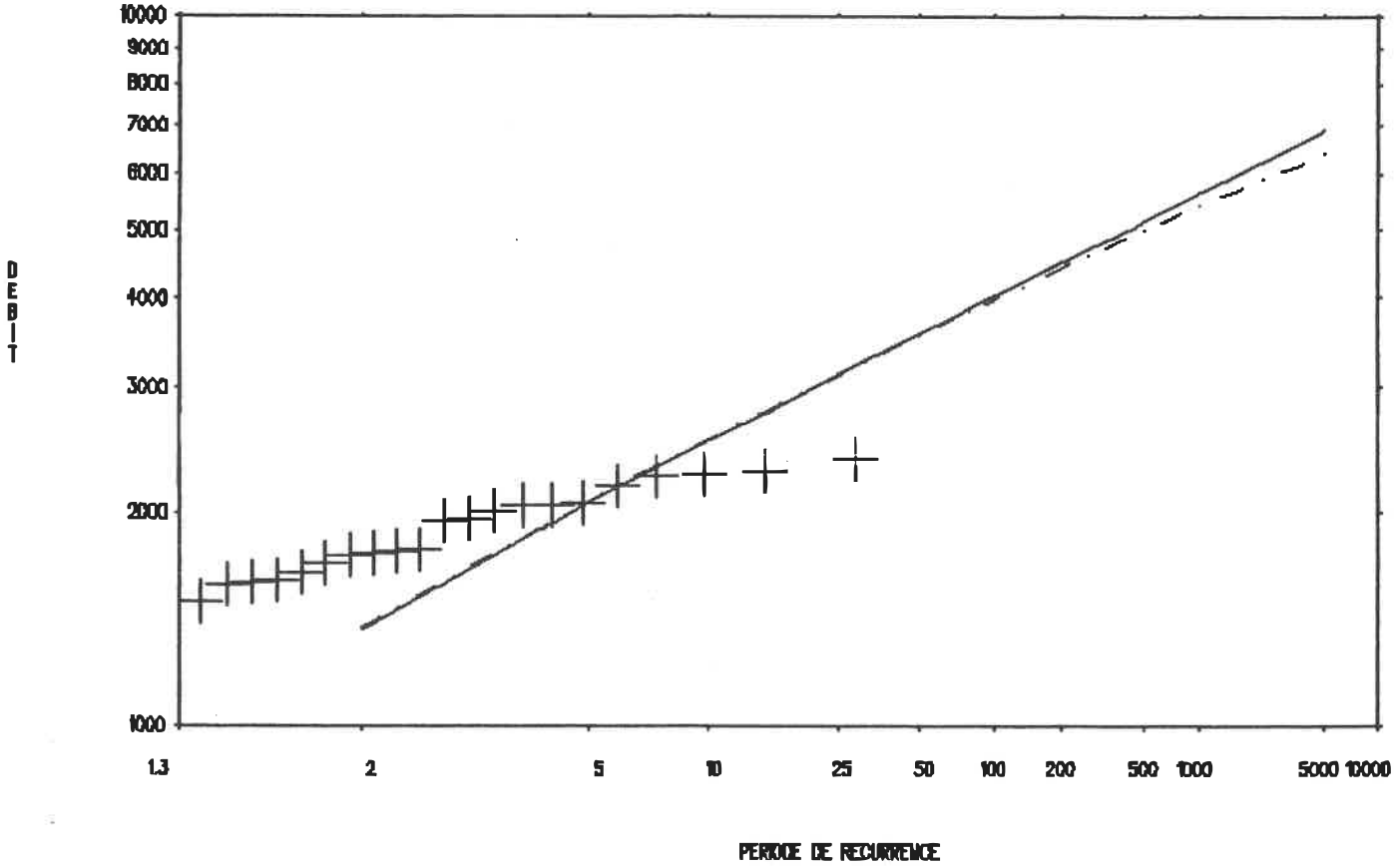


C33.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C33 - Stations 02VC001



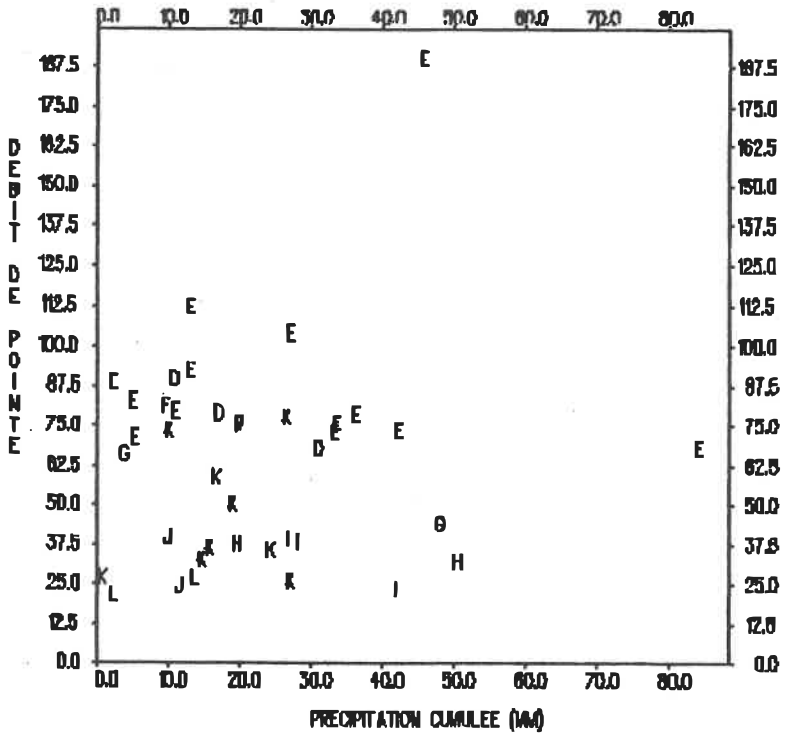
C33.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



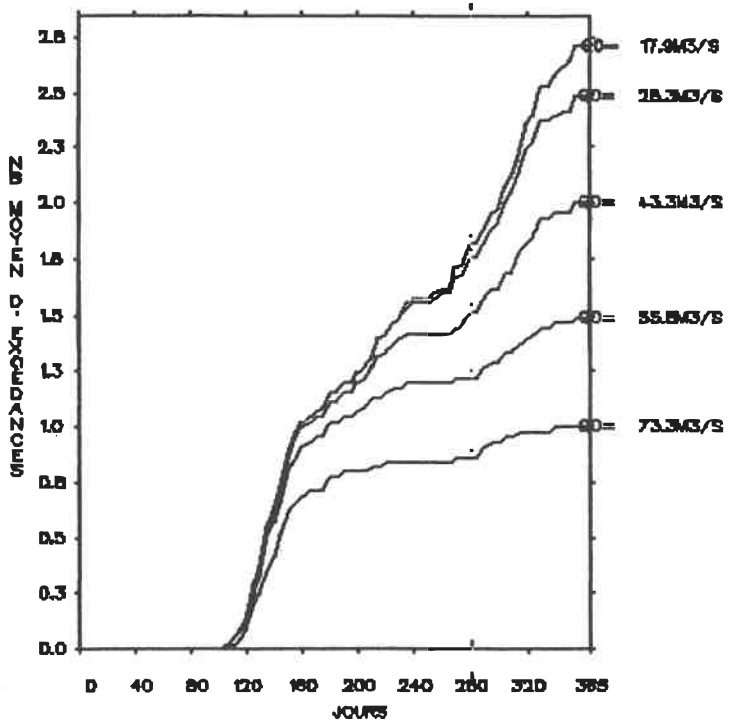
C33.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

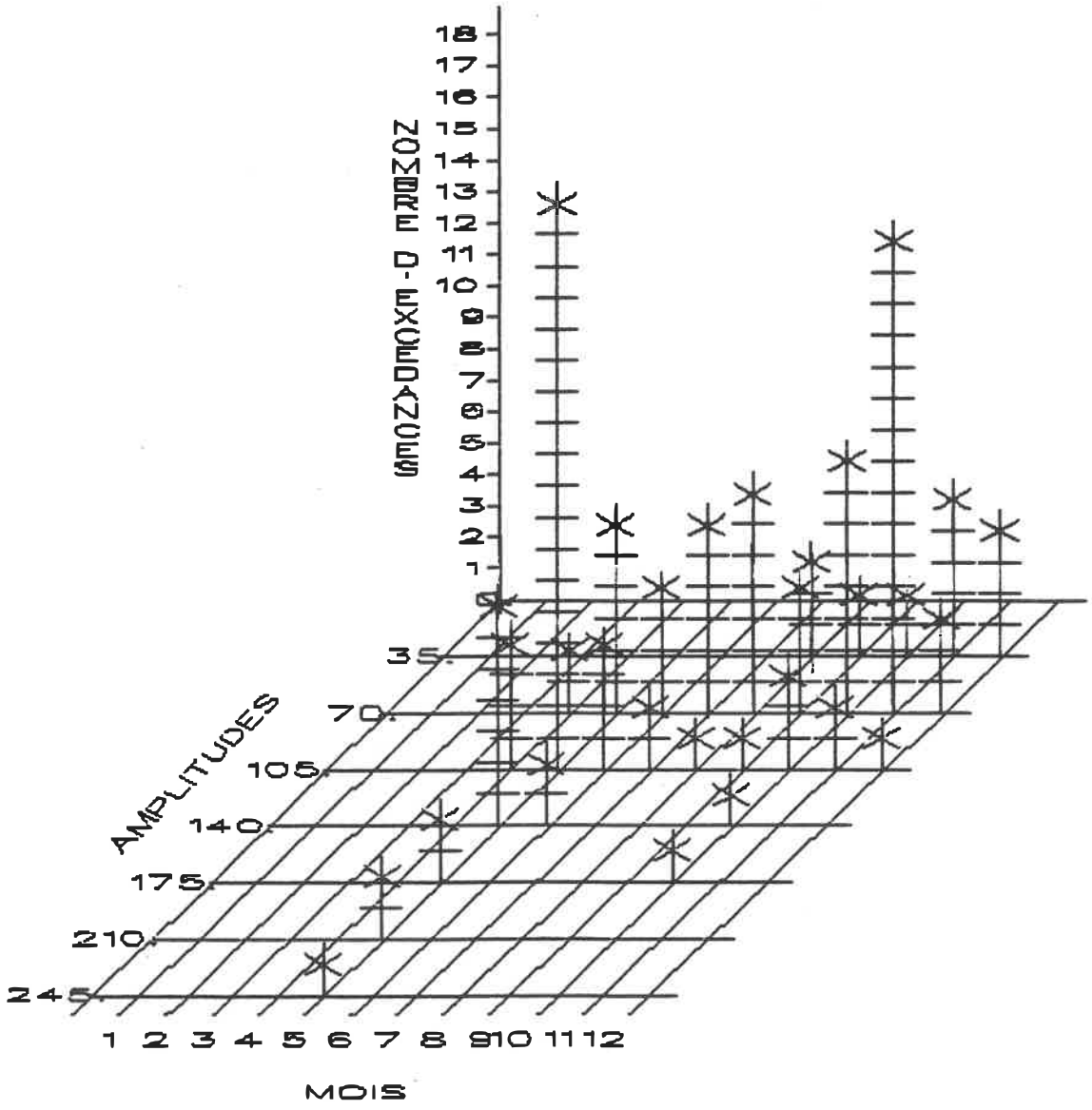


C34.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

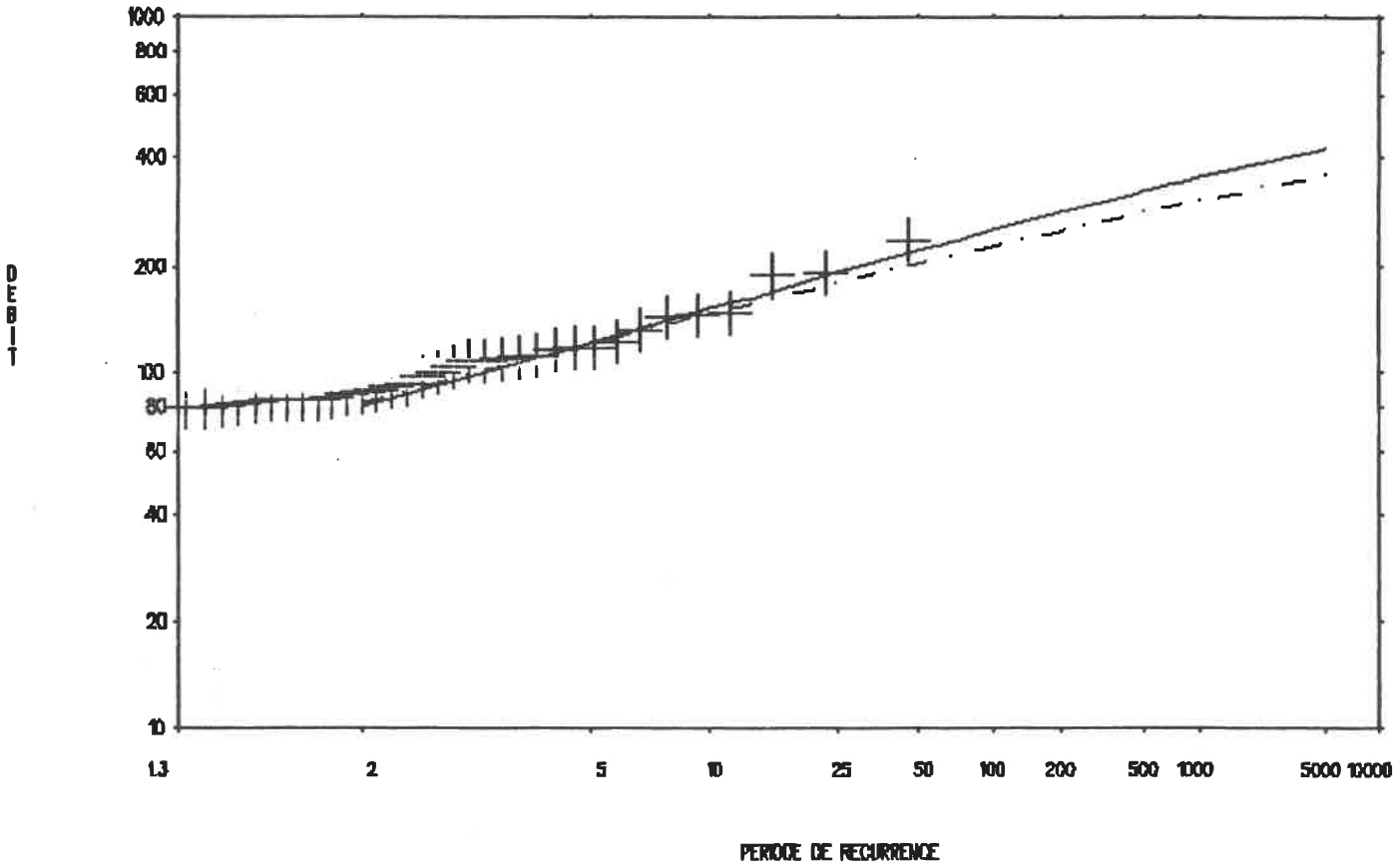


C34.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C34 - Stations 03AC001 + 03AC005



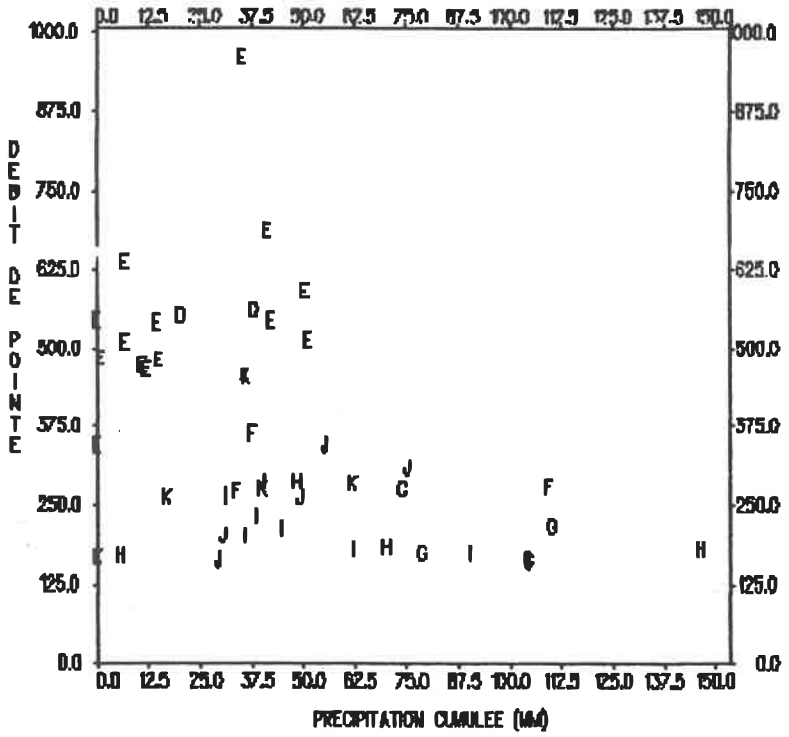
C34.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



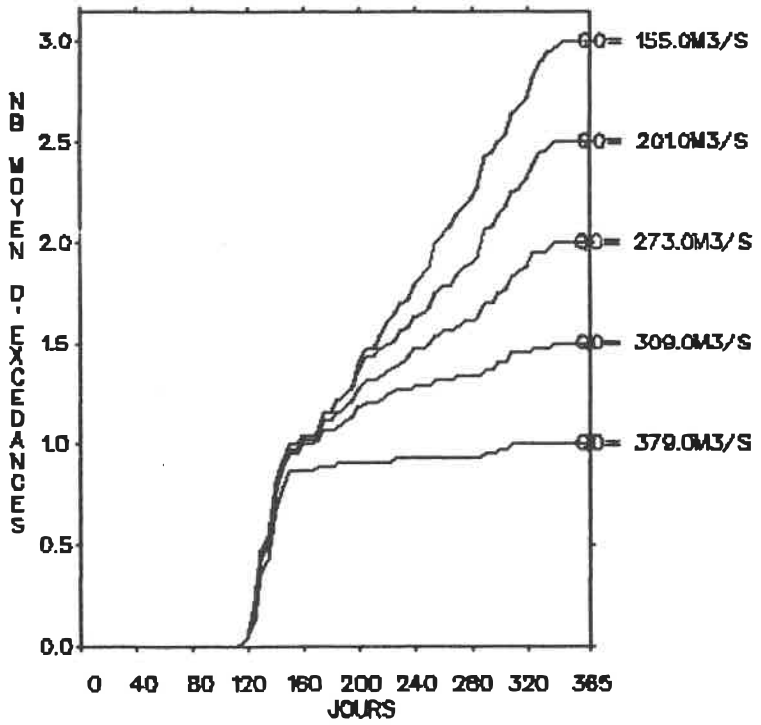
C34.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

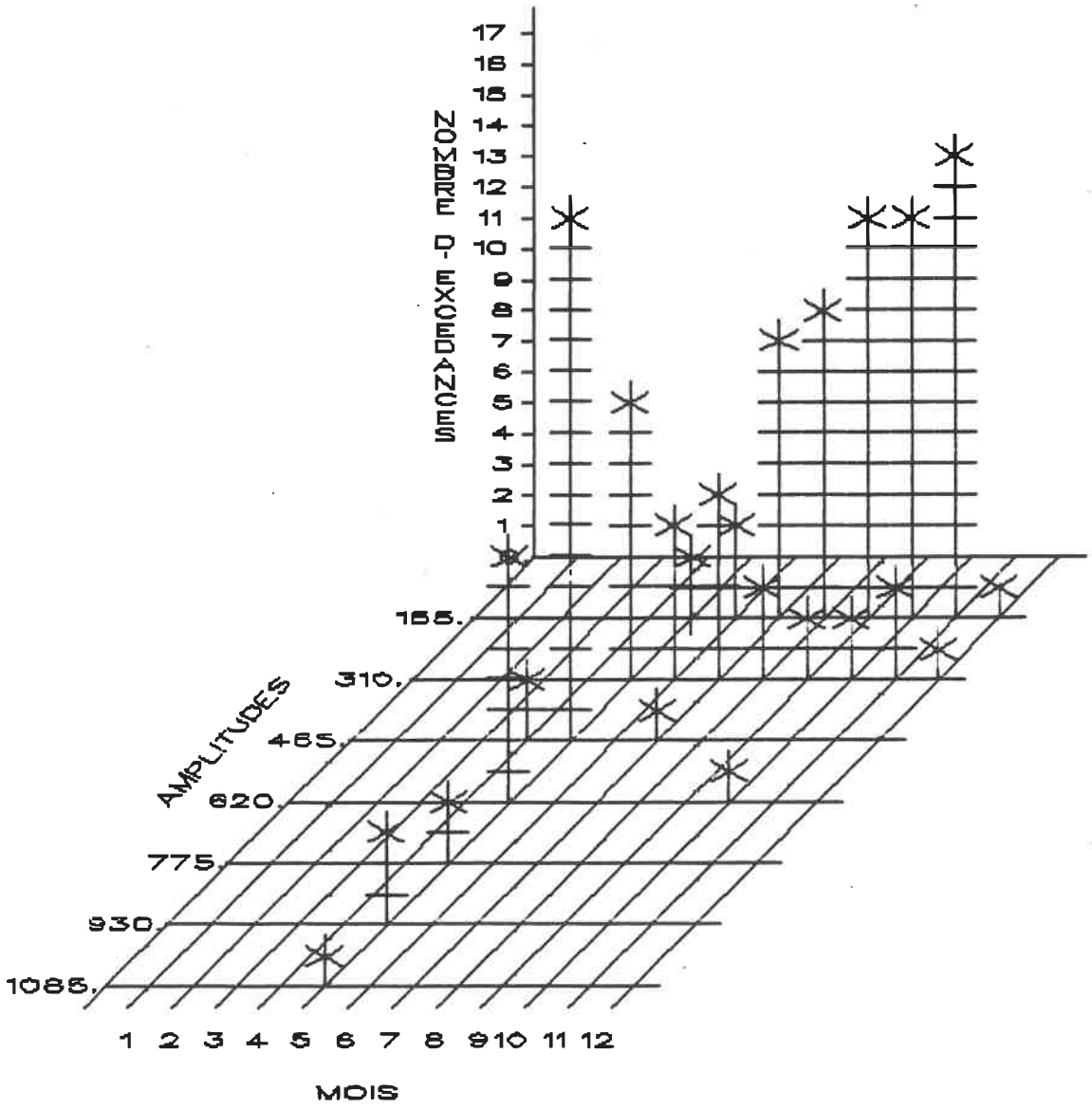


C35.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

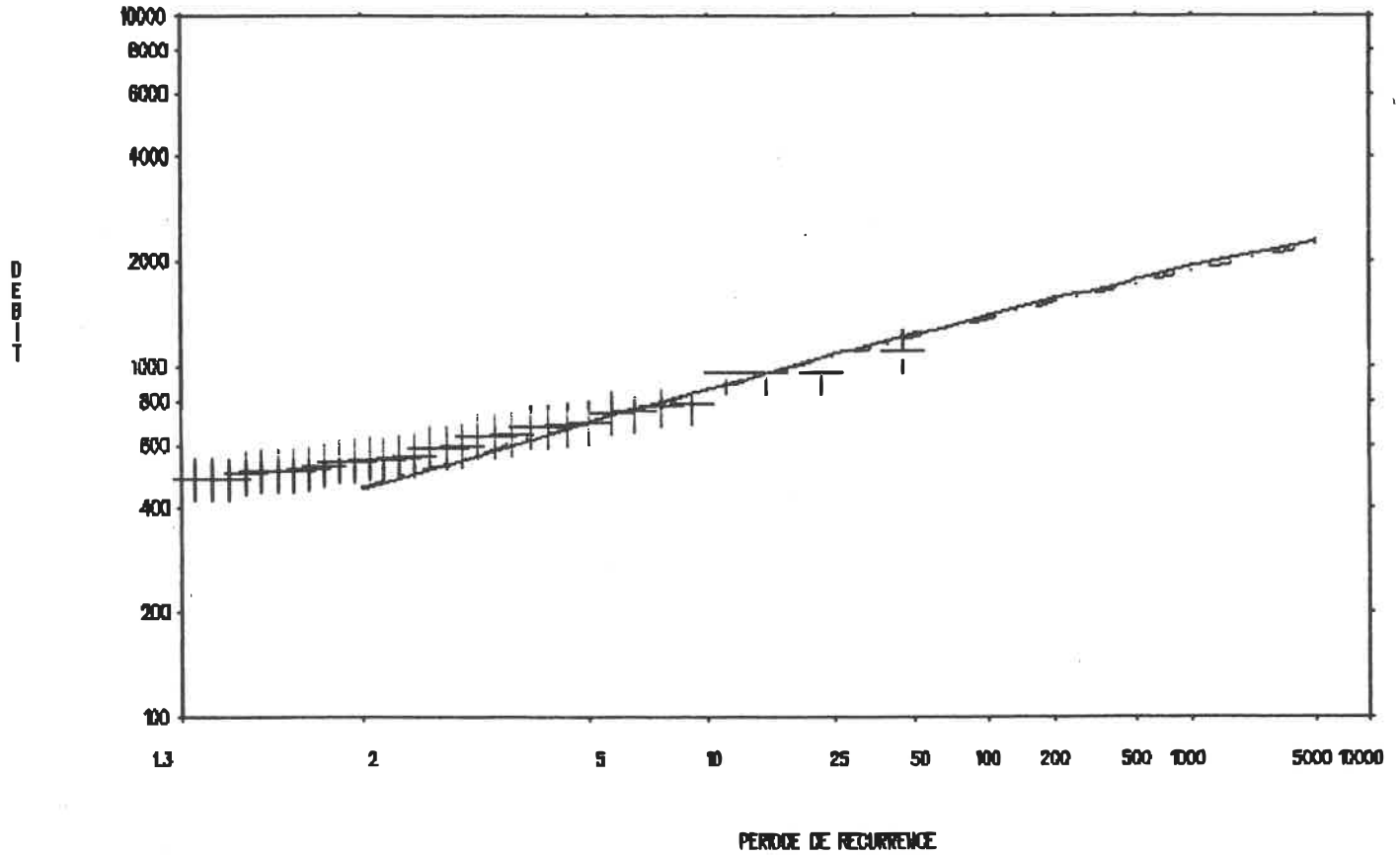


C35.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C35 - Stations 03AC002 + 03AC007



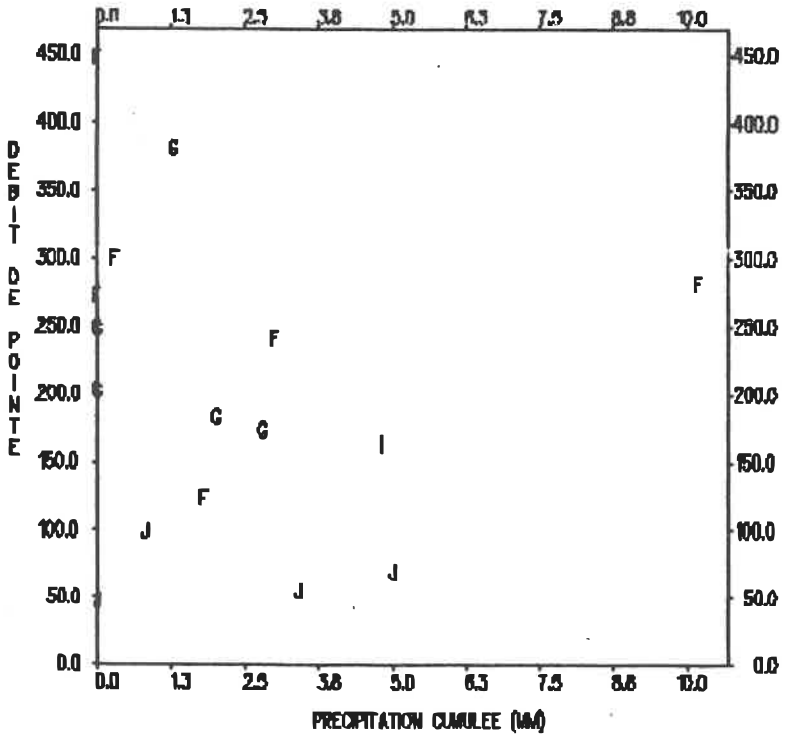
C35.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



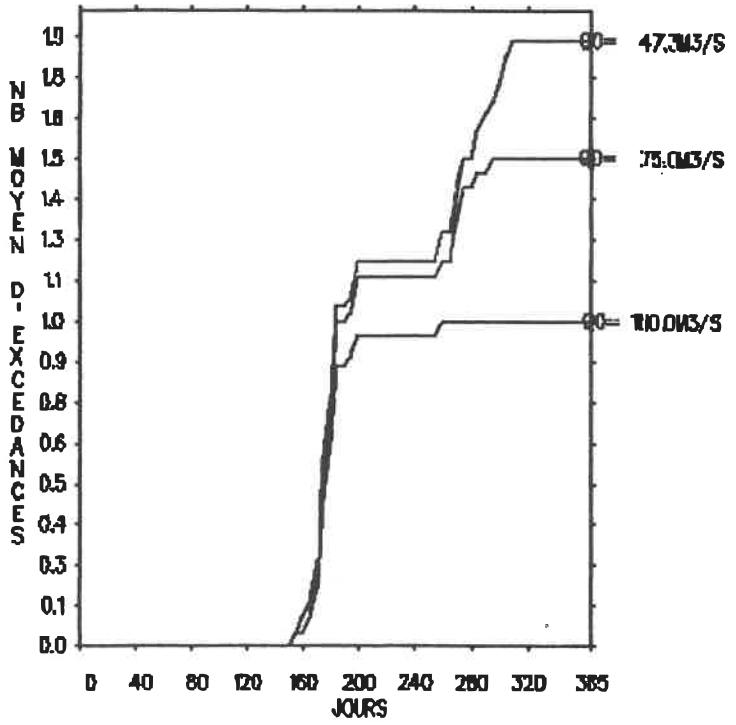
C35.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

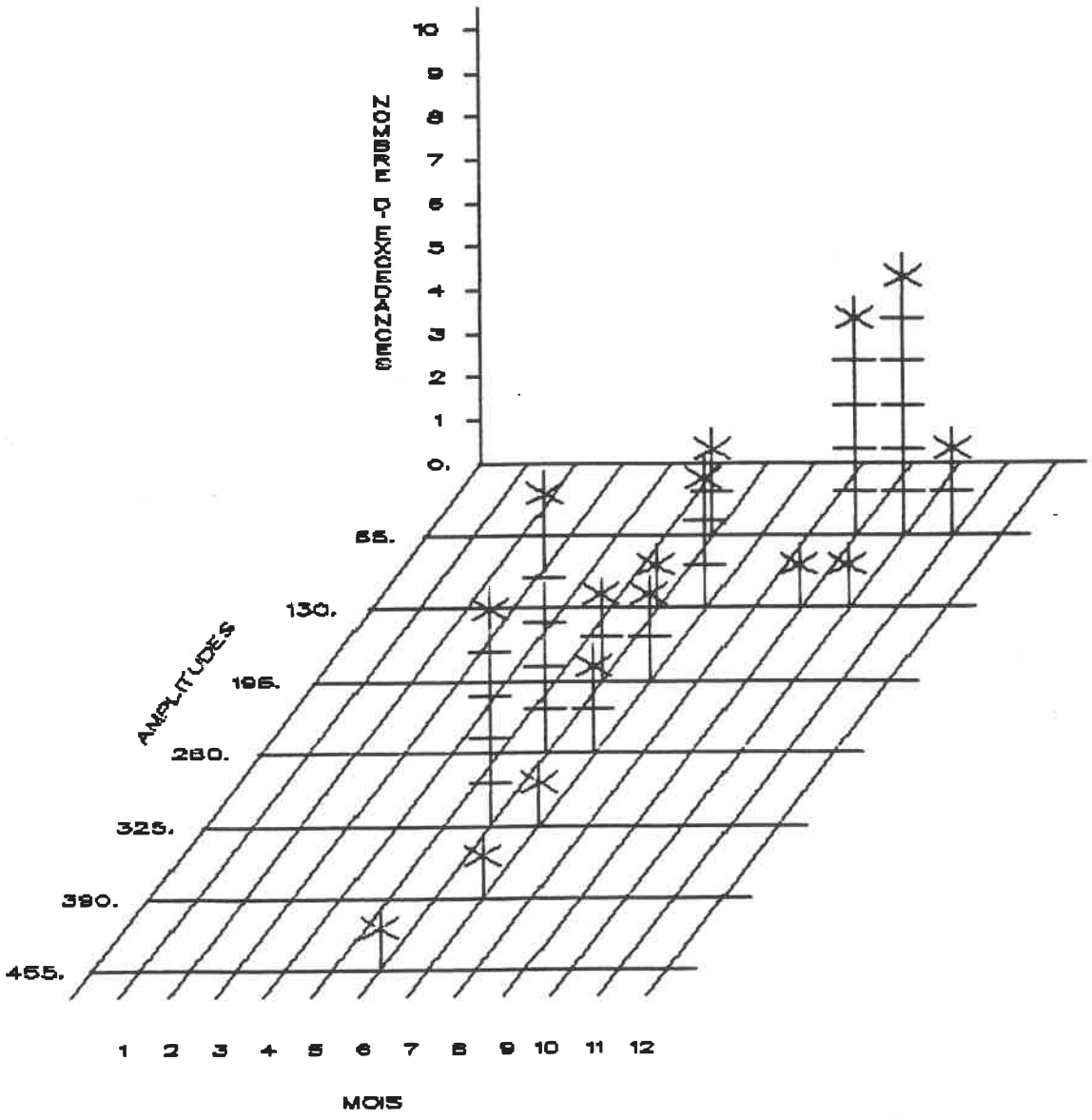


C36.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

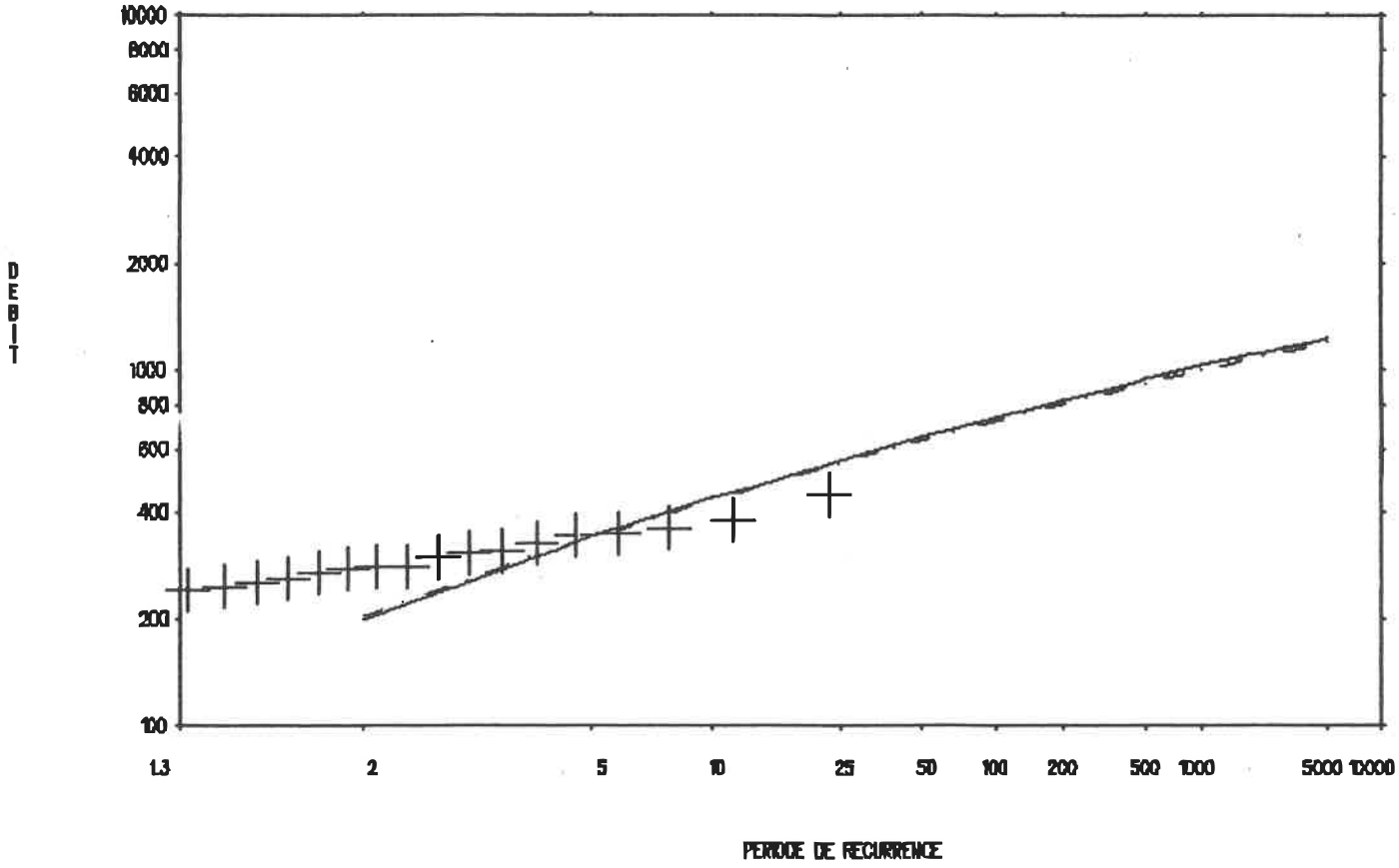


C36.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C36 - Stations 03HA009 + 03HA012



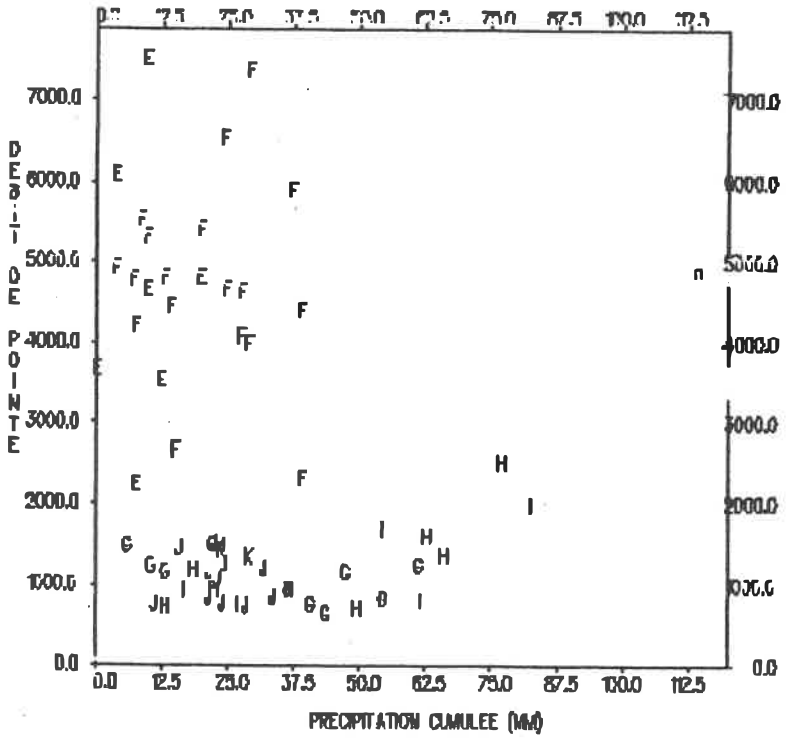
C36.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



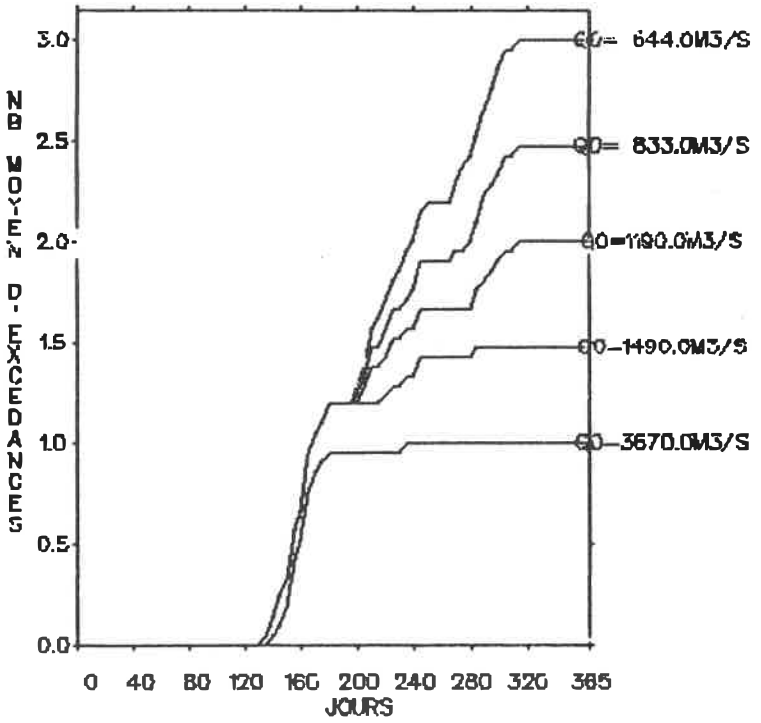
C36.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

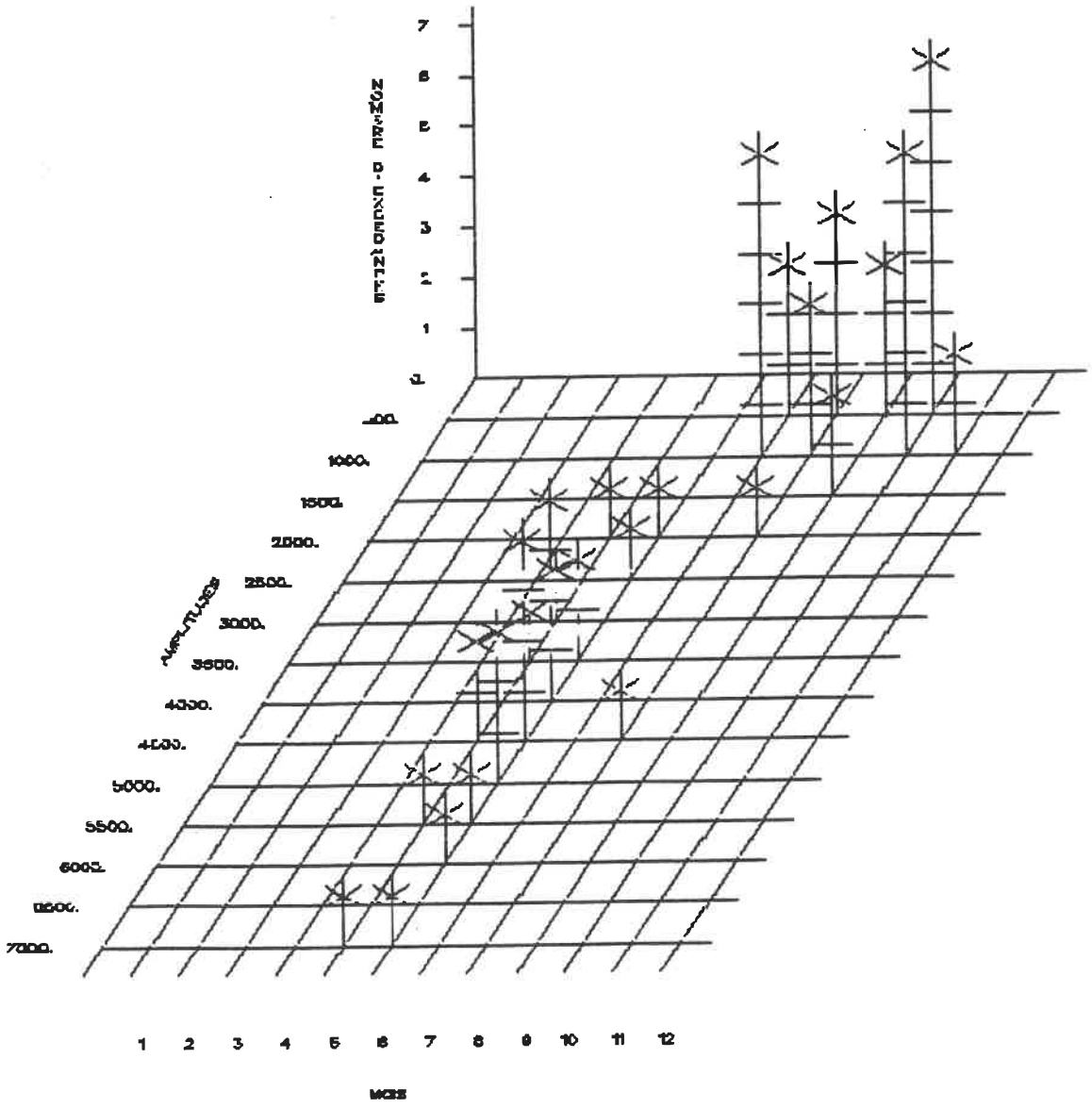


C37.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

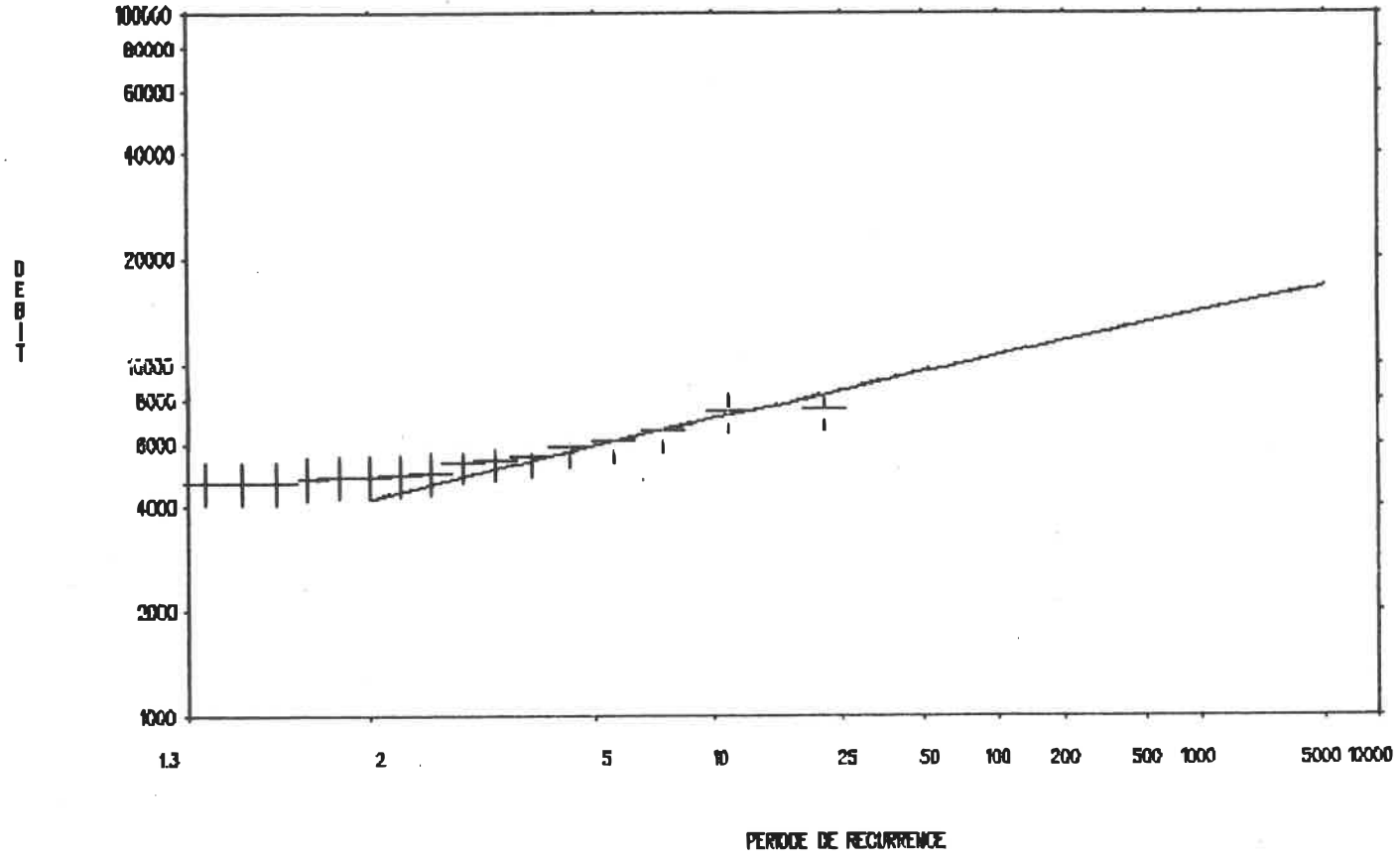


C37.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C37 - Station 03KC004



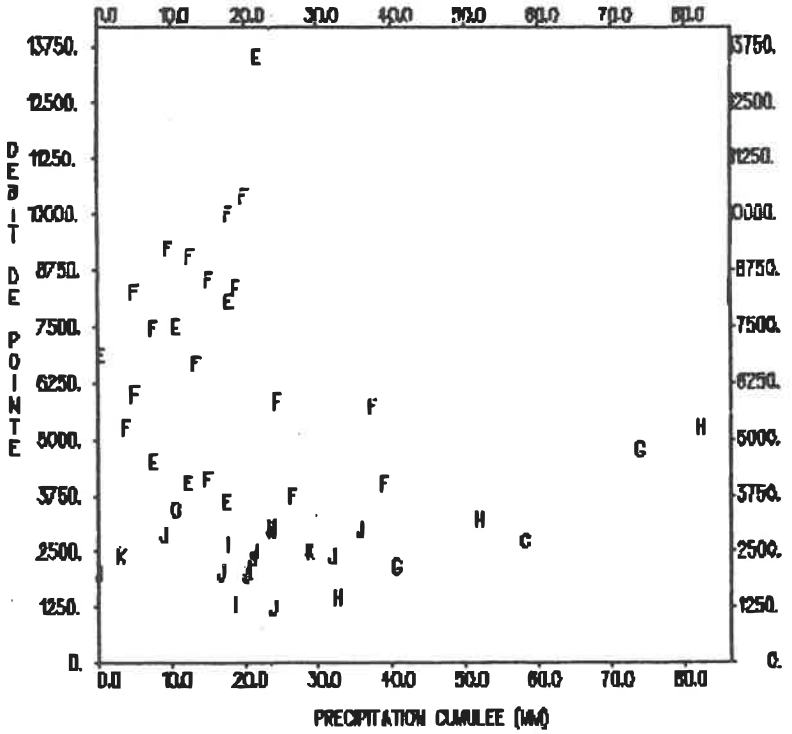
C37.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



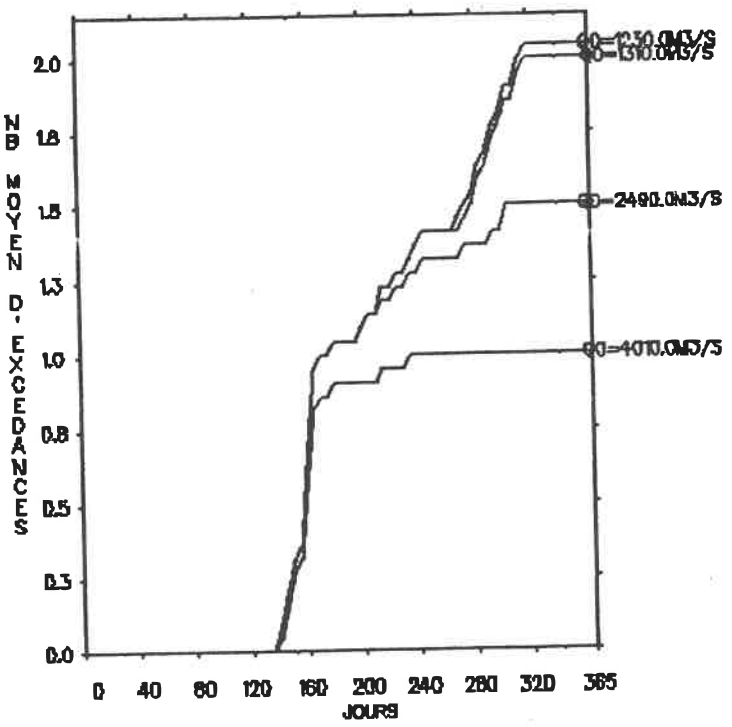
C37.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

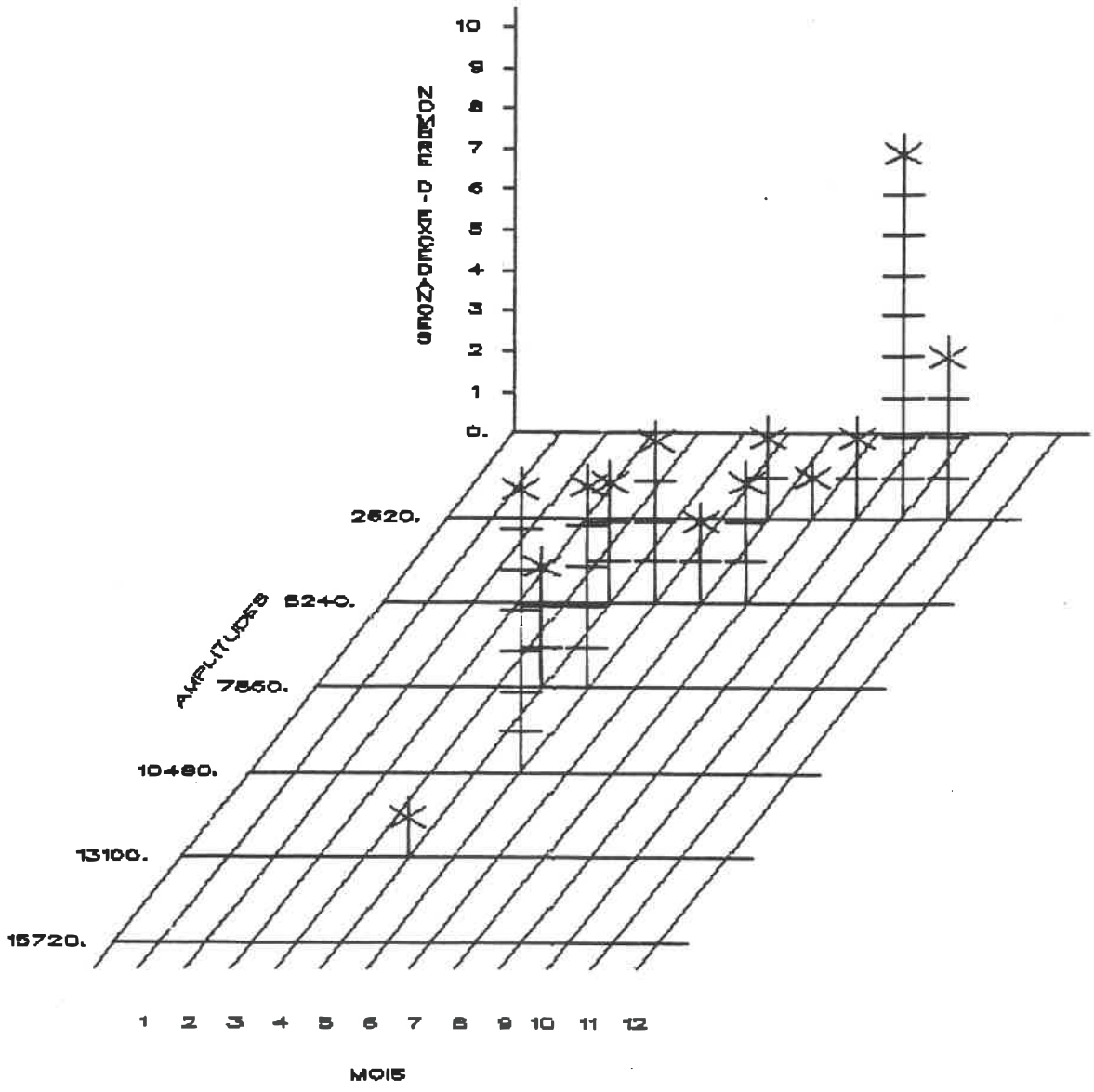


C38.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

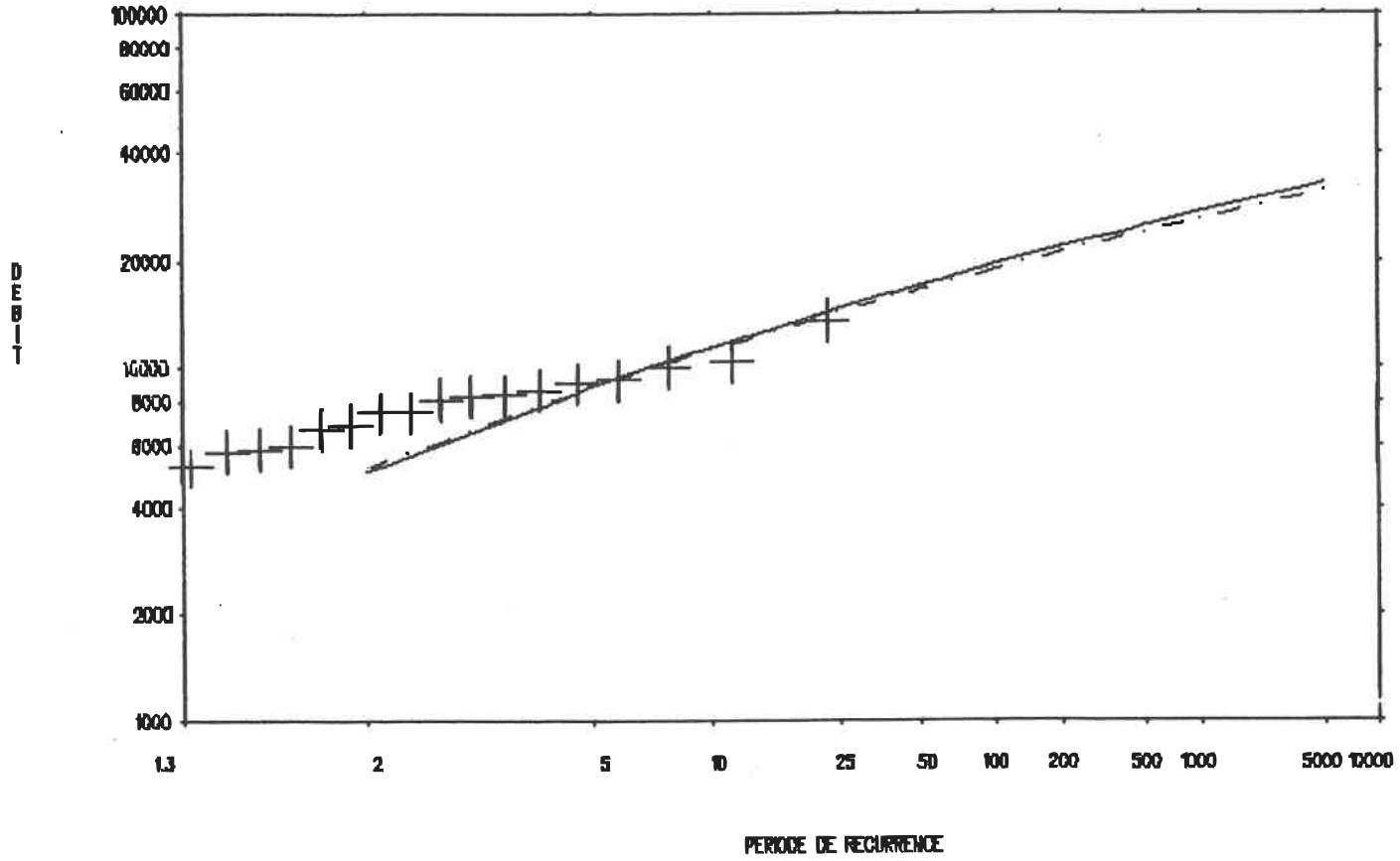


C38.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C38 - Station 03LF002



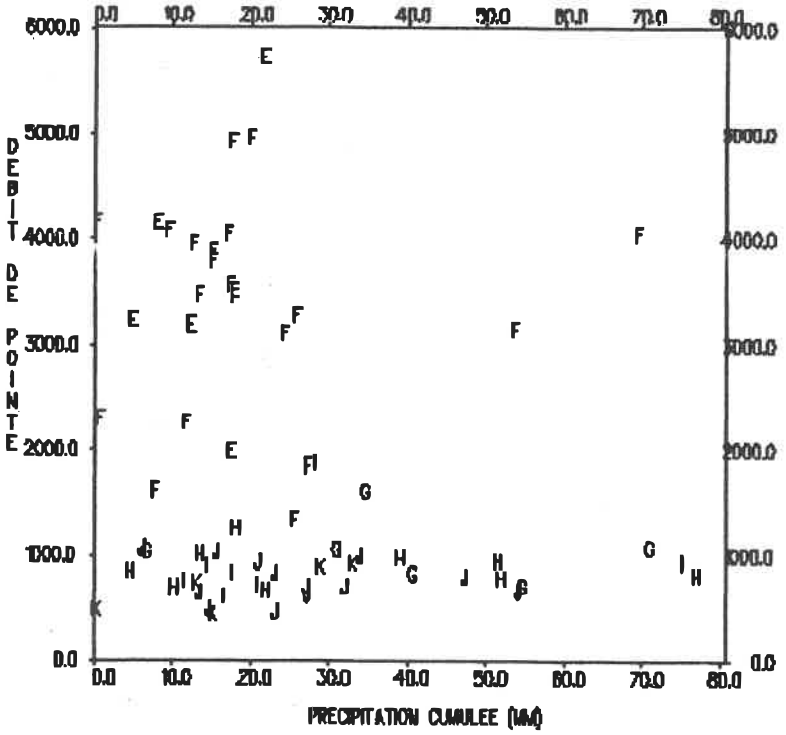
C38.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



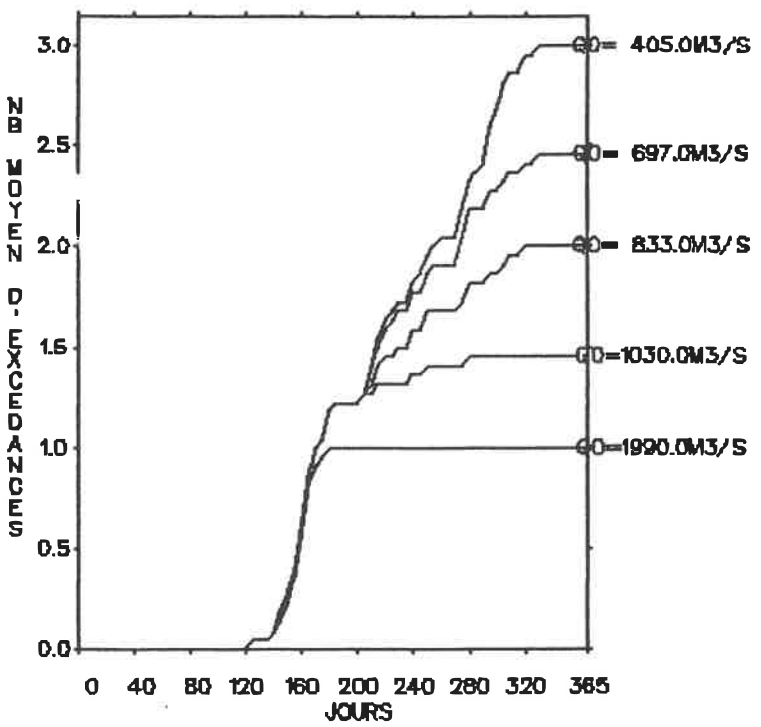
C38.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

– – analyse annuelle

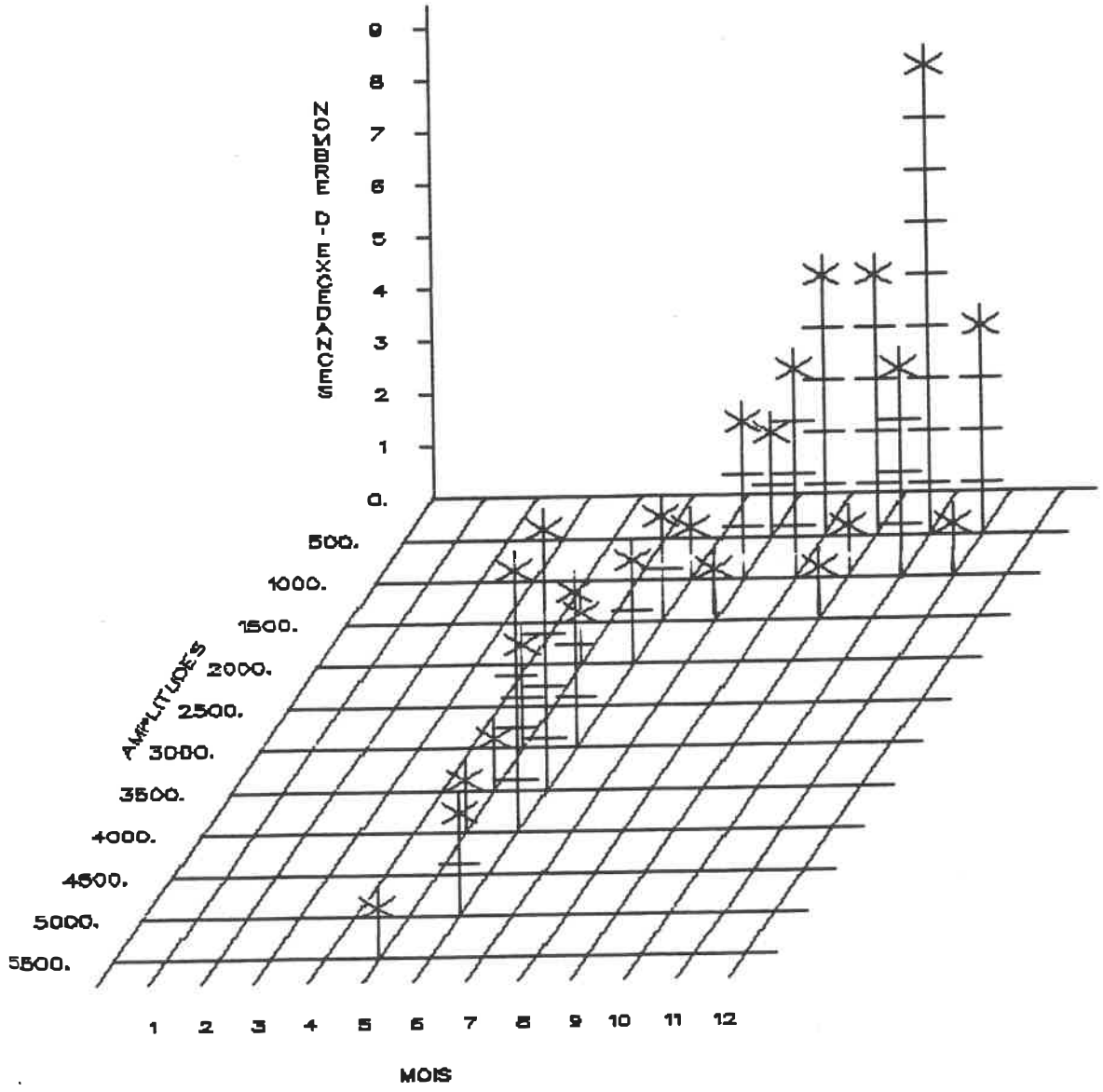


C39.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

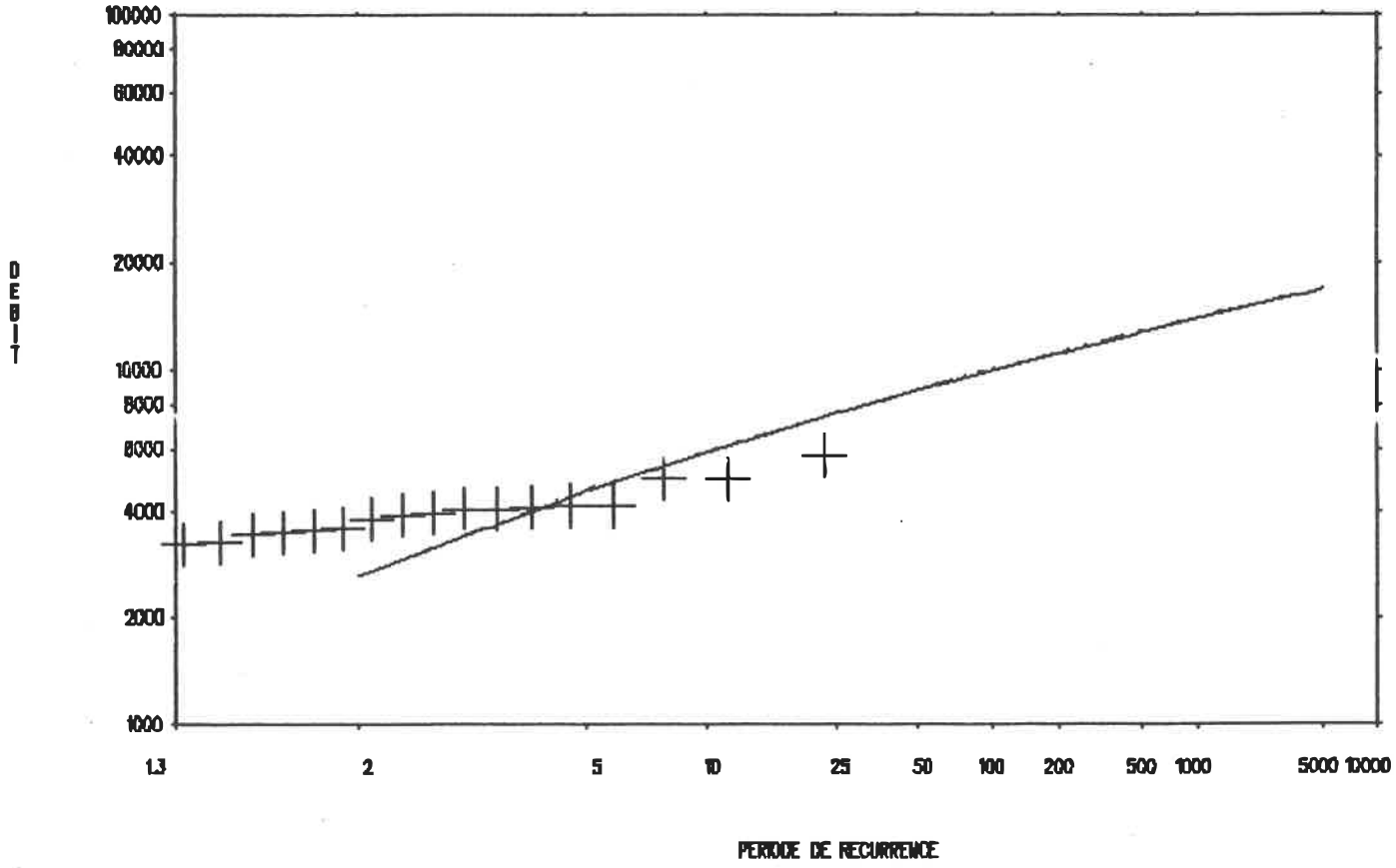


C39.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C39 - Station 03MC002



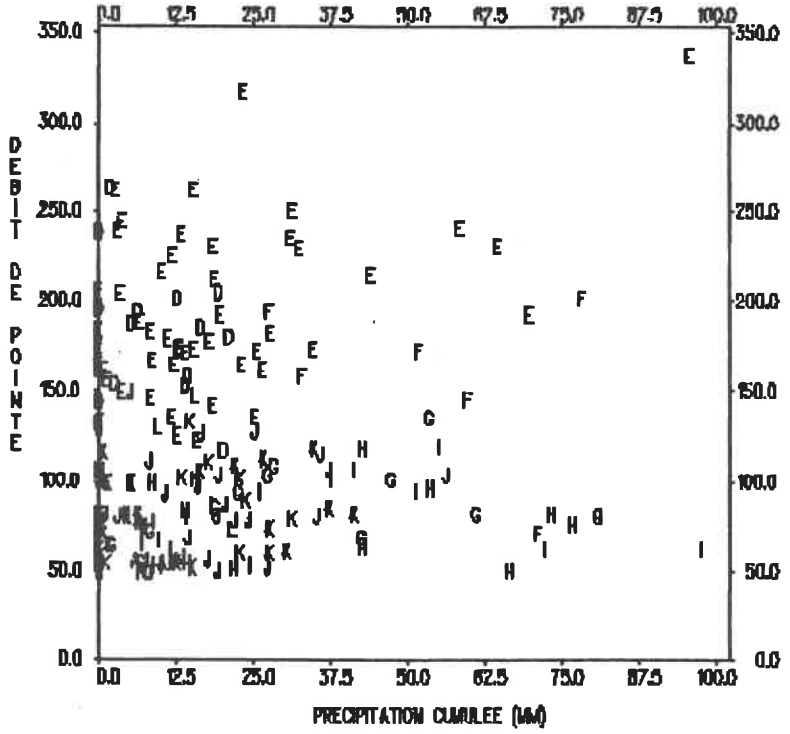
C39.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



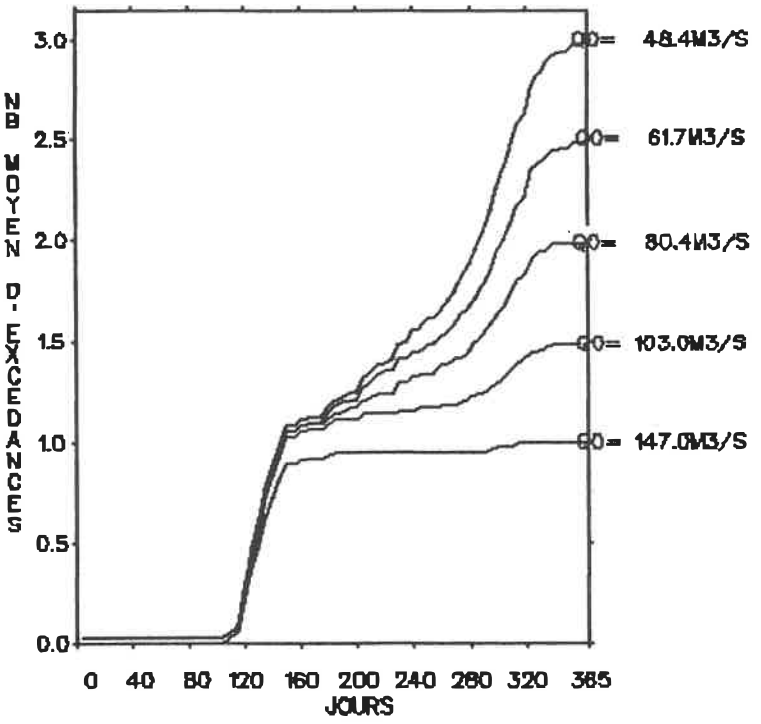
C39.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

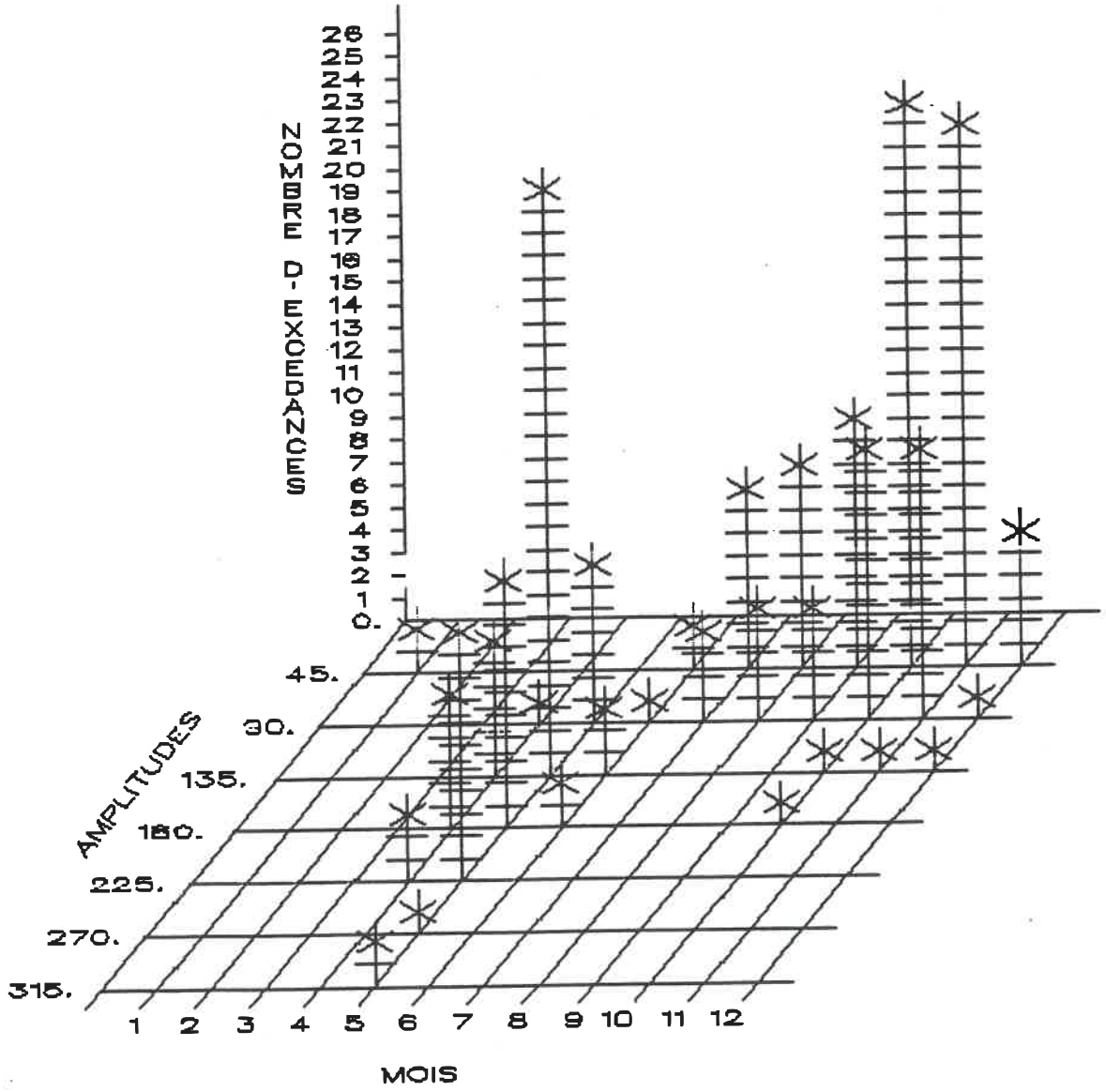


C40.a - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction de la précipitation cumulée (mm)

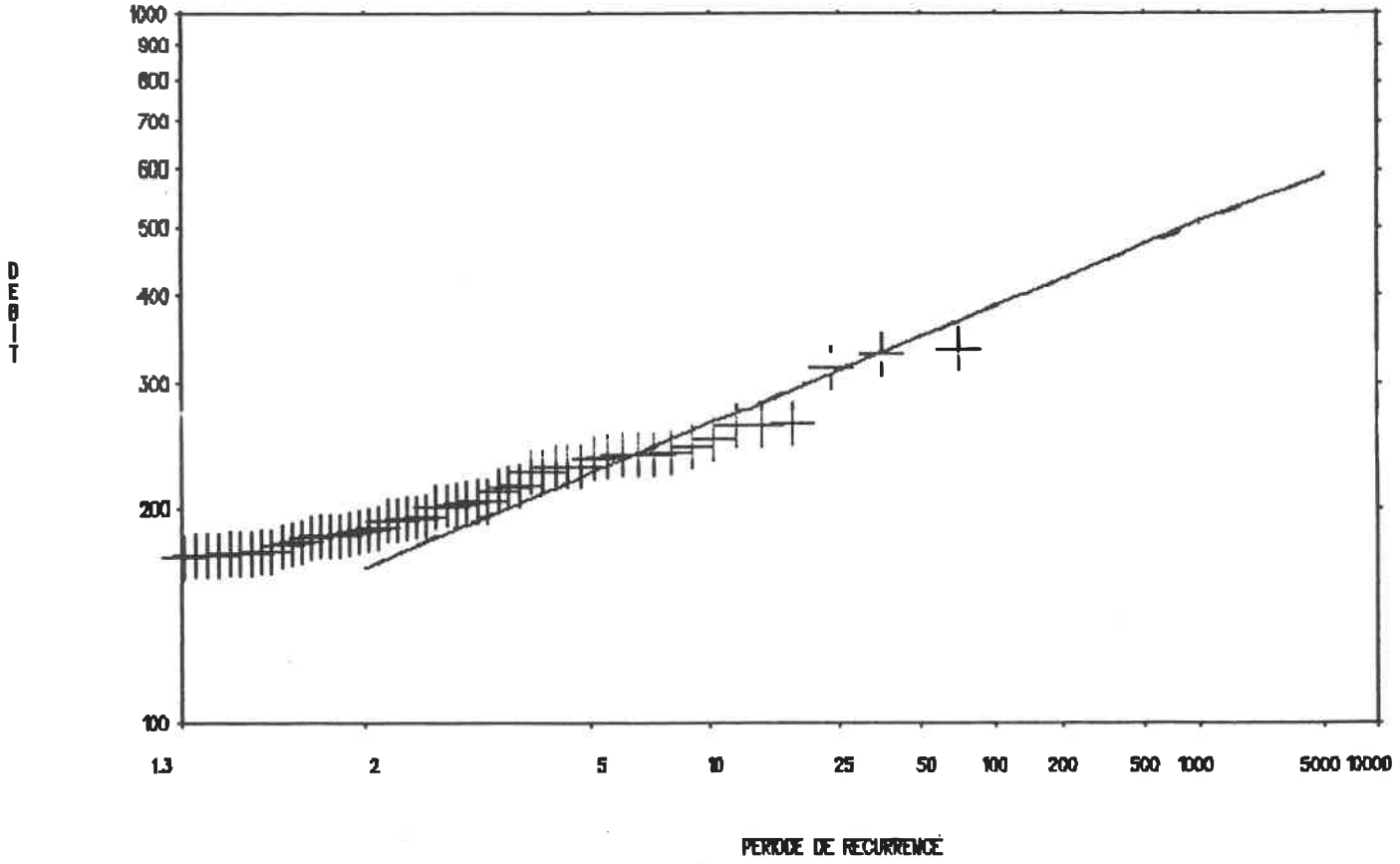


C40.b - Graphe du nombre moyen d'excédances en fonction du temps pour différents débits de base

Figure C40 - Stations 04NA002 + 04NA001



C40.c - Histogramme du nombre d'excédances en fonction de l'amplitude (m^3/s) et du mois



C40.d - Graphe du débit de pointe (m^3/s) en fonction du nombre d'années de récurrence

——— découpage en périodes homogènes

—·—· analyse annuelle

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
3 9334 00284775 2