

ROYAUME DU MAROC



MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS ET DES COMMUNICATIONS



Direction de l'Hydraulique

_ OUED MASSA _

**Étude hydrologique complémentaire
pour le barrage du TANKIST**

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - IBECO - Division Hydrologie

AVRIL 1969

ROYAUME DU MAROC

MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS ET DES COMMUNICATIONS

Direction de l'Hydraulique

- OUED MASSA -

ETUDE HYDROLOGIQUE COMPLEMENTAIRE
POUR LE BARRAGE DU TANKIST

ELECTRICITE DE FRANCE - IGECO - Division Hydrologie

AVRIL 1969

S O M M A I R E

	Page
- <u>INTRODUCTION</u>	1
I - <u>ETUDE des APPORTS</u>	2
1.1. - Données disponibles	2
1.2. - Régressions pluies-débits	4
1.3. - Echantillon retenu pour l'étude du barrage	6
II - <u>FONCTIONNEMENT SIMULE du BARRAGE</u>	8
2.1. - Constitution d'un échantillon fictif de 300 années.	8
2.2. - Programme de simulation	9
2.3. - Résultats	10
2.3.1. - Pour un programme avec rotation d'assolement	11
2.3.2. - Pour différents programmes à débits constants	11
III - <u>EXAMEN PLUVIOMETRIQUE de la CRUE de PROJET</u>	15
<u>ANNEXE 1</u>	
<u>ANNEXE 2</u>	

A la suite de l'expertise effectuée par l'IGECO en Novembre 1968, il avait été proposé d'effectuer des études hydrologiques complémentaires tant au sujet des apports (pour préciser la cote maximale à prévoir pour la retenue) qu'au sujet de la crue. Cette proposition a été acceptée par le Directeur de l'Hydraulique qui a fait part à l'Inspection Générale, par lettre datée du 8 Janvier 1969, de son accord pour l'exécution de ces études hydrologiques.

L'étendue de ces études était définie comme suit :

- Extension de la période des débits observés par régressions hydropluviométriques, dans la mesure où des données sont disponibles.
- Constitution d'un échantillon fictif de 300 ans conforme à la loi de distribution des apports telle qu'elle ressort des données disponibles.
- Essais de fonctionnement simulé de l'aménagement suivant les demandes exprimées par l'Administration.
- Examen des crues maximales à la lumière des données pluviométriques.

L'Oued MASSA est un petit fleuve côtier issu de l'Anti-Atlas dont le bassin jouxte au Sud celui, plus connu, de l'Oued SOUSS qui se jette dans l'Atlantique, près d'AGADIR.

A TANKIST, 9°30' de longitude Ouest et 29°51' de latitude Nord, l'Oued MASSA draine une superficie de 3 784 km², et l'altitude moyenne de son bassin est de 925 m.

I - ETUDE des APPORTS

1.1. - Données disponibles

En ce qui concerne les débits, on dispose d'une série de débits journaliers qui s'étendent du 1^{er} Septembre 1950 à fin Août 1967. Ces données ont été fournies par la Direction de l'Hydraulique et sont groupées par année agricole (Septembre - Août). Elles ont été examinées par l'expert de l'IGECO qui conclut dans son rapport à l'acceptation de ces débits.

Pour les pluies, les données dont nous disposons portent sur les dates extrêmes 1936 et 1967 mais avec d'énormes lacunes. Les postes qui ont été utilisés sont les suivants ; nous les donnons avec le numéro de code provisoire qui a été adopté pour la perforation :

- AÏT ABDALLAH	28 101
- ANEZI	28 102
- IFRANE de l'ANTI-ATLAS	28 103
- SOUK ARBA AÏT BAHA	28 104
- SOUK el TLETA des AKHSASS	28 105
- SOUK JEMA N'TIRHIRTE	28 106
- TAFRAOUTE	28 107
- TANALT	28 108
- TIFERMIT	28 109
- TIZNIT	28 110

Les données réellement disponibles figurent dans le tableau I. Encore faut-il souligner que les années pointées sur ce tableau ne sont pas toutes complètes, loin de là. Finalement, la période utilisable pour ces données pluviométriques s'étend seulement de 1937 à 1959. On peut en conclure que la période commune des observations pluviométriques et hydro-métriques s'étend seulement sur 9 ans, de 1951 à 1959, ce qui, évidemment, n'est pas beaucoup.

Les pluies moyennes sur le bassin ont été calculées par la méthode des polygones de Thiessen, les coefficients attribués à chacune des stations étant les suivants :

- ANEZI	0,198
- TANALT	0,179

Année	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1936	x	x					x	x		x	
37	x	x				x	x	x		x	
38	x	x				x	x	x	x	x	
39	x	x				x	x	x	x	x	
40	x	x				x	x	x	x	x	
41	x	x	x		x		x	x	x	x	
42	x	x	x		x		x	x		x	
43	x	x	x		x		x	x		x	
44	x	x	x			x	x	x	x	x	
45	x	x	x			x	x	x	x	x	
46	x	x	x		x	x	x	x	x	x	
47	x	x	x		x	x	x	x	x	x	
48	x	x	x		x	x	x	x	x	x	
49	x	x	x		x	x	x	x	x	x	
50	x	x	x		x	x	x	x	x	x	
51	x	x	x		x	x	x	x	x	x	
52	x	x	x		x	x	x	x	x	x	
53	x	x	x		x	x		x	x	x	
54	x	x	x		x	x	x	x	x	x	
55	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
56	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
57	x	x	x	x	x	x	x		x		
58	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
59		x	x		x	x	x	x	x	x	
60		x					x		x	x	
61							x				
62				x			x				
63			x	x		x	x				
64			x	x		x	x				
65	x		x	x		x	x				
66	x		x	x		x	x				
67	x		x	x		x	x				

- 1 AIT ABDALLAH
- 2 ANEZI
- 3 IFRANE
- 4 SOUK ARBA
- 5 SOUK el TLETA
- 6 SOUK JEMA
- 7 TAFRAOUTE
- 8 TANALT
- 9 TIFERMIT
- 10 TIZNIT

x. - Année comportant des relevés.

PLUVIOMETRIE MOYENNE SUR LE BASSIN

28001111MAROC

OUED MASSA

TANKIST

		JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	TOTAL
ANNEE	37	18.0	0.5	4.8	0.9	4.0	0.1	1.9	6.2	1.1	109.4	9.3	12.9	169.2
ANNEE	38	56.6	19.6	5.9	27.1	9.2	5.1	0.0	0.3	8.8	66.2	22.9	188.9	410.7
ANNEE	39	52.3	56.7	9.8	32.1	7.1	8.9	0.3	5.1	0.5	24.4	64.9	67.6	329.6
ANNEE	40	67.3	92.2	25.3	1.9	0.0	0.0	1.6	4.9	2.4	152.8	39.8	18.4	406.5
ANNEE	41	159.0	26.2	29.6	52.8	8.2	0.0	0.0	10.6	7.1	5.0	51.4	4.2	354.1
ANNEE	42	27.5	79.3	10.5	14.6	0.6	1.2	0.0	0.0	23.7	28.1	62.6	15.1	263.1
ANNEE	43	7.4	3.3	46.9	27.0	11.0	1.2	0.4	0.1	16.8	0.1	17.5	53.0	184.5
ANNEE	44	0.0	54.4	2.6	4.8	4.2	10.9	0.0	0.0	69.0	0.2	49.3	21.5	216.6
ANNEE	45	29.7	0.5	0.0	1.4	2.3	0.8	0.0	0.0	0.3	2.8	31.3	43.3	112.4
ANNEE	46	54.8	16.4	56.9	59.8	10.3	10.6	4.3	0.0	34.2	1.8	24.9	17.8	291.8
ANNEE	47	122.3	105.1	42.5	0.0	56.2	0.0	4.2	0.8	4.8	4.5	67.5	39.6	447.5
ANNEE	48	35.2	52.5	10.5	109.6	72.7	1.6	0.0	1.7	0.0	0.7	0.0	70.0	354.6
ANNEE	49	37.1	5.2	57.9	85.0	3.6	0.0	2.5	2.8	1.0	0.0	24.3	133.3	352.8
ANNEE	50	54.8	0.0	2.6	4.6	13.0	0.1	0.5	14.5	41.3	25.1	0.0	64.8	221.5
ANNEE	51	47.8	50.2	45.3	0.3	8.1	0.0	0.0	0.5	20.1	8.5	148.6	58.6	388.0
ANNEE	52	45.6	7.3	9.4	19.4	10.8	0.0	0.6	6.9	45.6	5.6	22.4	52.8	226.4
ANNEE	53	92.7	21.7	38.2	11.8	0.0	0.0	0.2	7.4	5.3	29.3	6.8	114.6	328.0
ANNEE	54	51.1	71.7	119.1	57.5	2.4	0.0	0.0	3.0	0.0	0.7	103.9	87.8	497.2
ANNEE	55	67.0	48.8	89.2	3.0	0.7	5.2	0.0	0.0	0.0	91.2	10.6	20.4	336.1
ANNEE	56	83.4	212.7	73.5	38.6	0.7	0.8	0.0	2.0	5.1	9.3	2.0	5.4	433.3
ANNEE	57	22.8	0.0	16.2	65.2	3.5	1.5	0.4	0.6	0.9	22.7	27.9	187.4	349.1
ANNEE	58	9.0	29.7	0.0	5.8	3.1	6.2	0.0	1.0	0.0	3.2	7.7	42.9	108.4
ANNEE	59	18.6	3.3	35.2	6.1	18.7	0.0	1.4	0.0	1.3	2.8	32.7	5.4	125.5

Fig: 1

- TAFRAOUTE	0,165
- TIFERMIT	0,165
- SOUK JEMA N'TIRHIRTE	0,152
- SOUK ARBA AÏT BAHA	0,119
- TIZNIT	0,022

Les trois autres stations n'interviennent que pour remplacer des stations déficientes.

Pour l'étude des régressions hydropluviométriques, les relevés pluviométriques doivent être complets à toutes les stations, de manière à ce que les régressions soient toujours faites à partir du même indice pluviométrique. Si pour un mois donné d'une année donnée un relevé vient à manquer à une station, il est nécessaire de compléter l'observation manquante en opérant une substitution avec la station la plus proche. Mais en opérant ainsi on tend à introduire une erreur systématique, la station de remplacement pouvant avoir une pluviométrie mensuelle pour le mois en question, systématiquement différente de la pluviométrie correspondant au poste étudié. Il faut donc effectuer une correction en fonction du rapport des précipitations moyennes mensuelles. Dans ce but on établit, au moyen d'un programme POH 107, le coefficient A d'une relation $Y = AX$ pour chaque couple de pluviomètres, Y étant par définition la pluviométrie mensuelle au poste de travail et X la pluviométrie mensuelle au poste de substitution. Le même programme assure la perforation de la matrice $A(I,J)$ des coefficients relatifs aux différents couples de postes pluviométriques.

On calcule ensuite, au moyen d'un programme POH 108, les pluies moyennes mensuelles sur le bassin. Le calcul de la pluie moyenne est effectué par la méthode de Thiessen. Le programme comporte un processus de substitution pour les relevés manquants basé sur la distance entre postes et avec utilisation de la matrice calculée par POH 107 pour les corrections d'erreurs systématiques. Les résultats sont perforés et imprimés (figure 1).

1.2. - Régressions pluies-débits

Deux méthodes ont été utilisées. La première consiste à mettre en régressions les débits moyens annuels et les pluies annuelles en utilisant un indice de concentration de pluies mensuelles de la forme

$$C_p = \frac{1}{\bar{p}} \sqrt{\frac{1}{132} \sum_{i=1}^{12} (p_i - \bar{p})^2} .$$

On pensait utiliser cet indice avec une formule du type :
 $Q = A(1 + aC_p) (P - P_0)$ Q étant le débit moyen annuel, P la hauteur de précipitation annuelle. En fait, s'il existe bien une corrélation entre Q et P, compte tenu de C_p , la régression correspondante ne peut absolument pas être considérée comme linéaire. Il a fallu procéder à une recherche de régressions multiples par la méthode des résidus qui permet de traiter des régressions curvilinéaires quelconques. On a pu effectivement mettre en évidence de telles régressions mais le résultat reste trop imprécis pour être de quelque utilité dans l'extension des données.

Un deuxième essai a été fait au moyen de corrélations hydropluviométriques à l'échelle mensuelle. Les résultats restent assez dispersés pour les débits moyens mensuels, mais la corrélation entre débits moyens annuels observés et débits moyens annuels calculés à partir des sommes des débits moyens mensuels ainsi calculés peut être considérée comme satisfaisante. Le coefficient de corrélation est égal à 0,882. La figure 2 montre comment se disposent les points représentatifs autour d'une droite à 45° ; on voit, sur cette figure, qu'il n'y a pas lieu d'effectuer une correction d'erreur systématique.

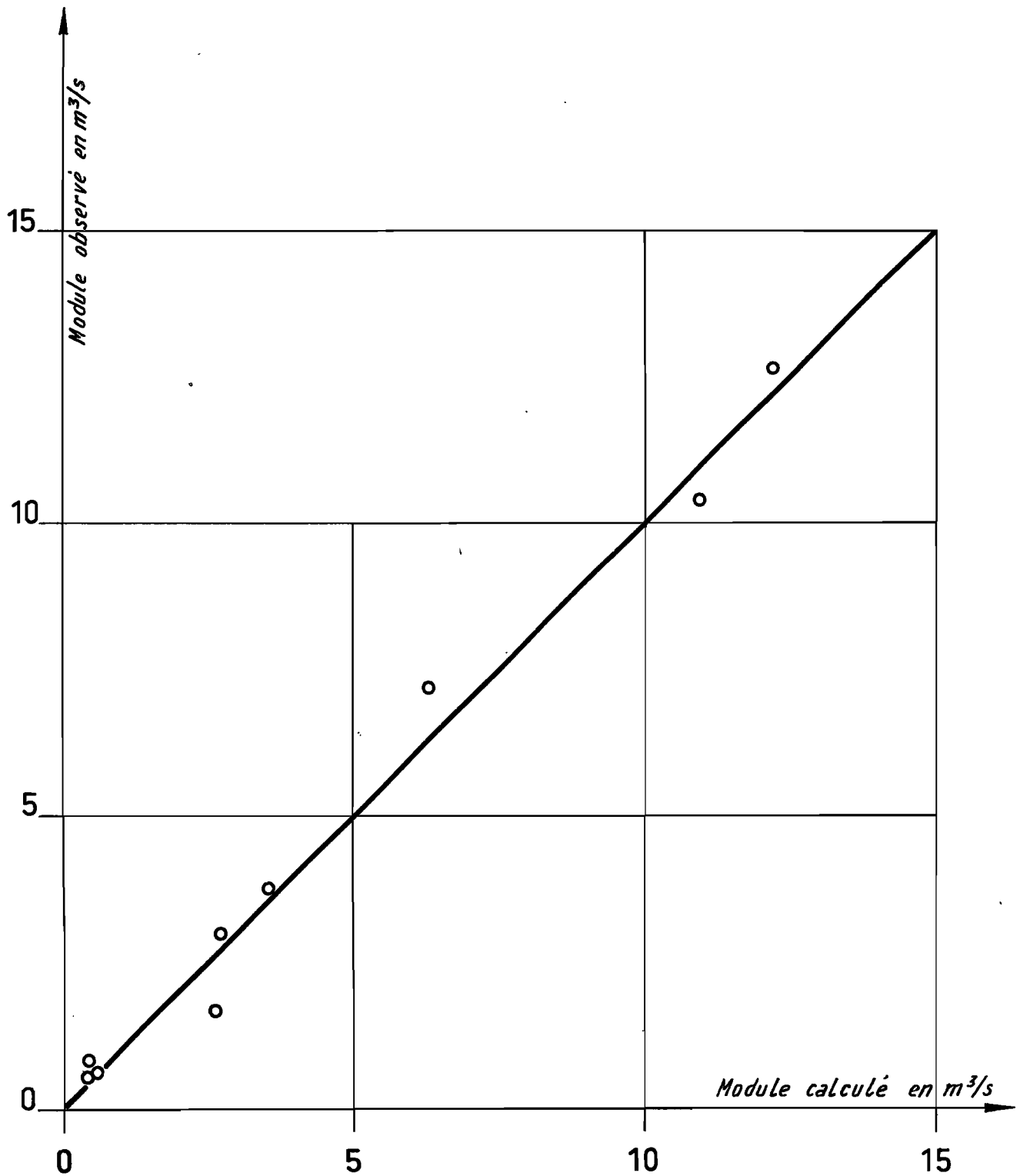
Nous résumons ci-dessous brièvement les résultats relatifs aux régressions multiples pour les différents mois :

- Janvier : le débit moyen de Janvier est mis en régression avec la pluie de Janvier ; le terme correctif est la pluie de Décembre. Pour les couples de points disponibles, la correction de Décembre a toutefois peu d'importance sauf pour la pluviométrie la plus faible (1958).
- Février : le facteur principal est la pluie de Février ; il n'apparaît pas d'influence caractéristique de la pluie de Janvier, la corrélation est assez bonne, sauf pour l'année 1955 qui est aberrante.
- Mars : le facteur principal est la pluie de Mars. Une correction non négligeable est obtenue à partir de la pluie de Février. La corrélation est acceptable ; notons toutefois deux points assez aberrants : 1951 et 1955.
- Avril : le facteur principal est la pluie d'Avril. La correction due à la pluie de Mars n'est pas très importante ; la corrélation est médiocre.

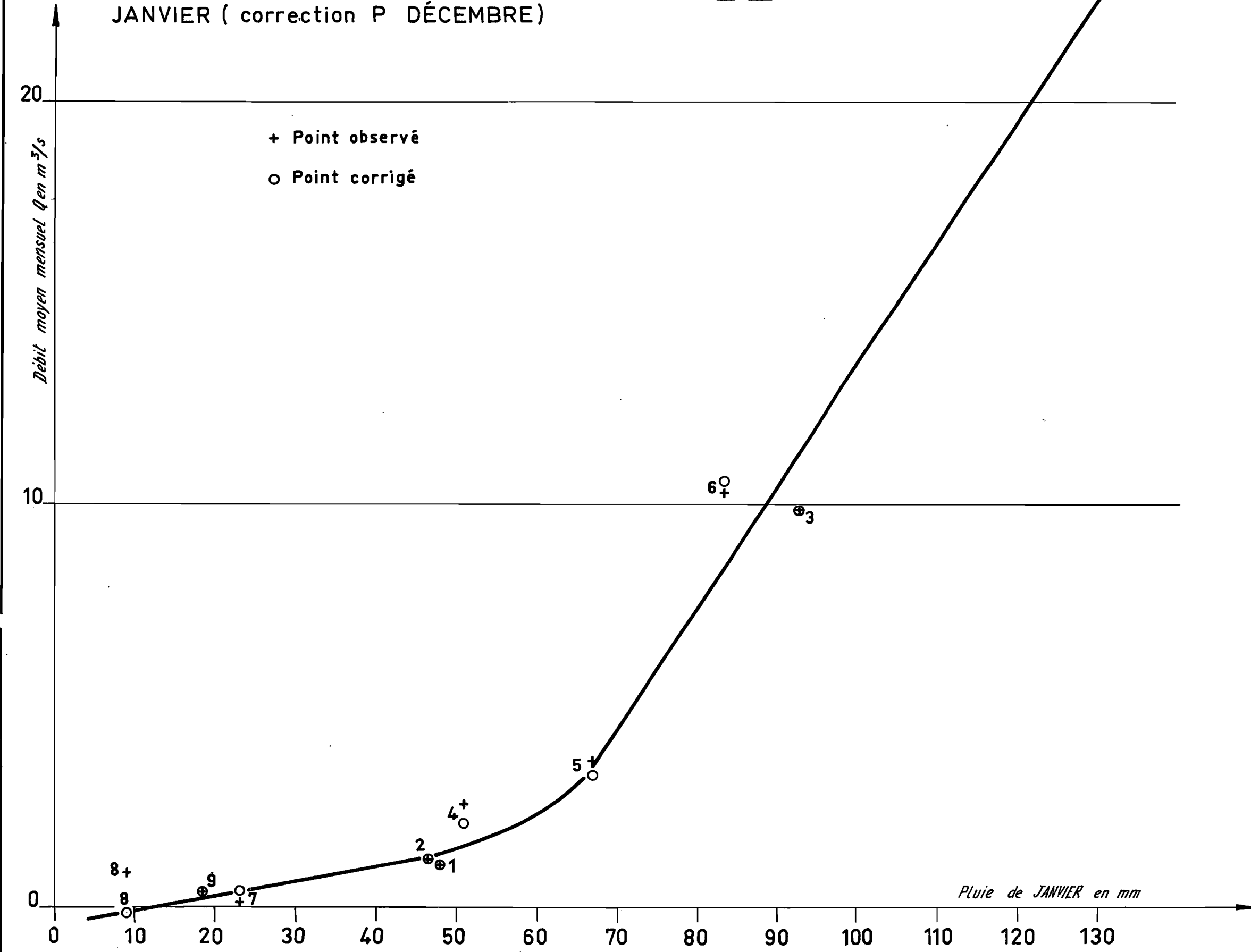
Avec le mois de Mai, on entre dans la saison sèche. Si, pour ce mois, on observe quelques relations entre la pluie et le débit, pour les

Modules calculés et modules observés. Coefficient
de corrélation : 0,882

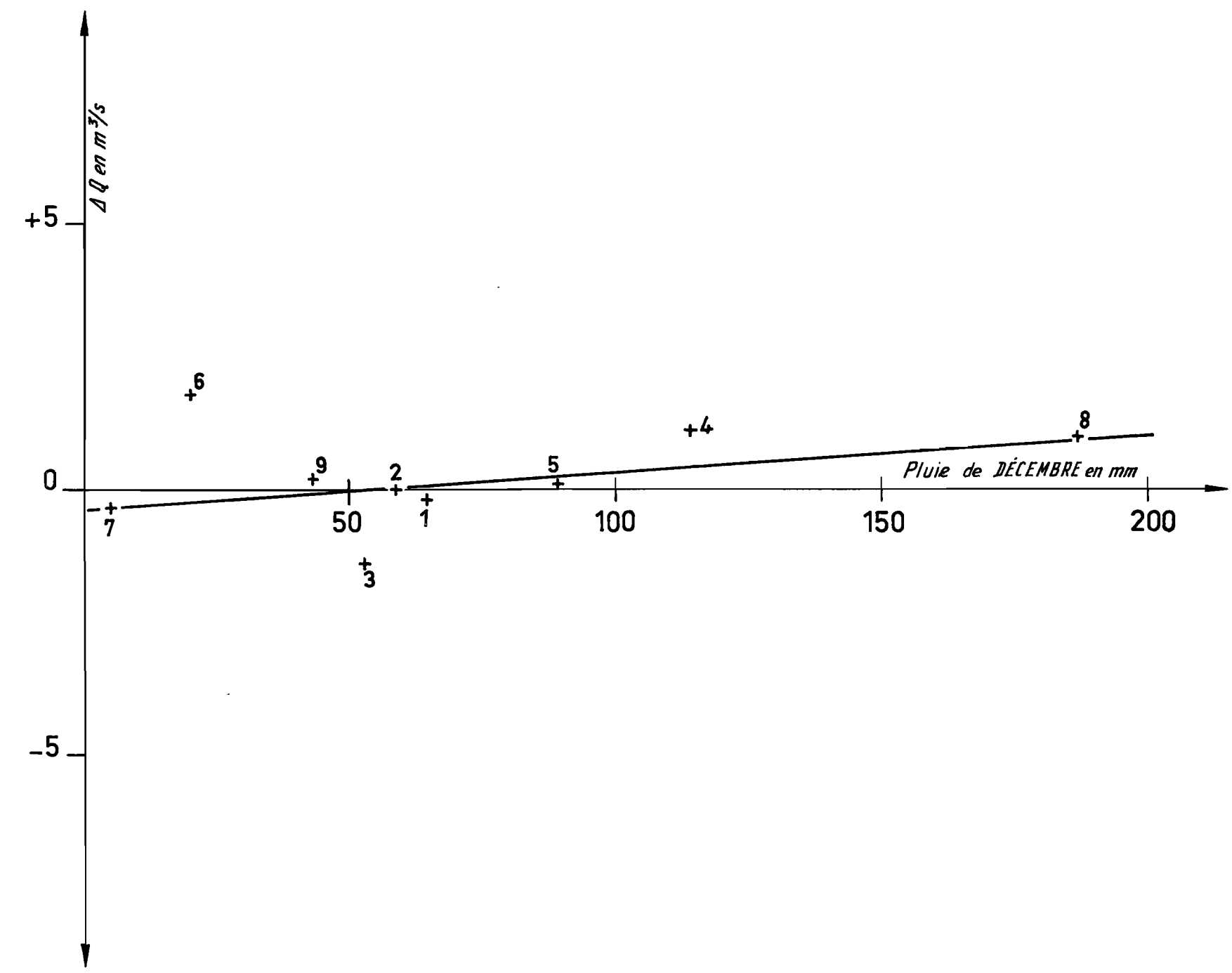
Fig: 2



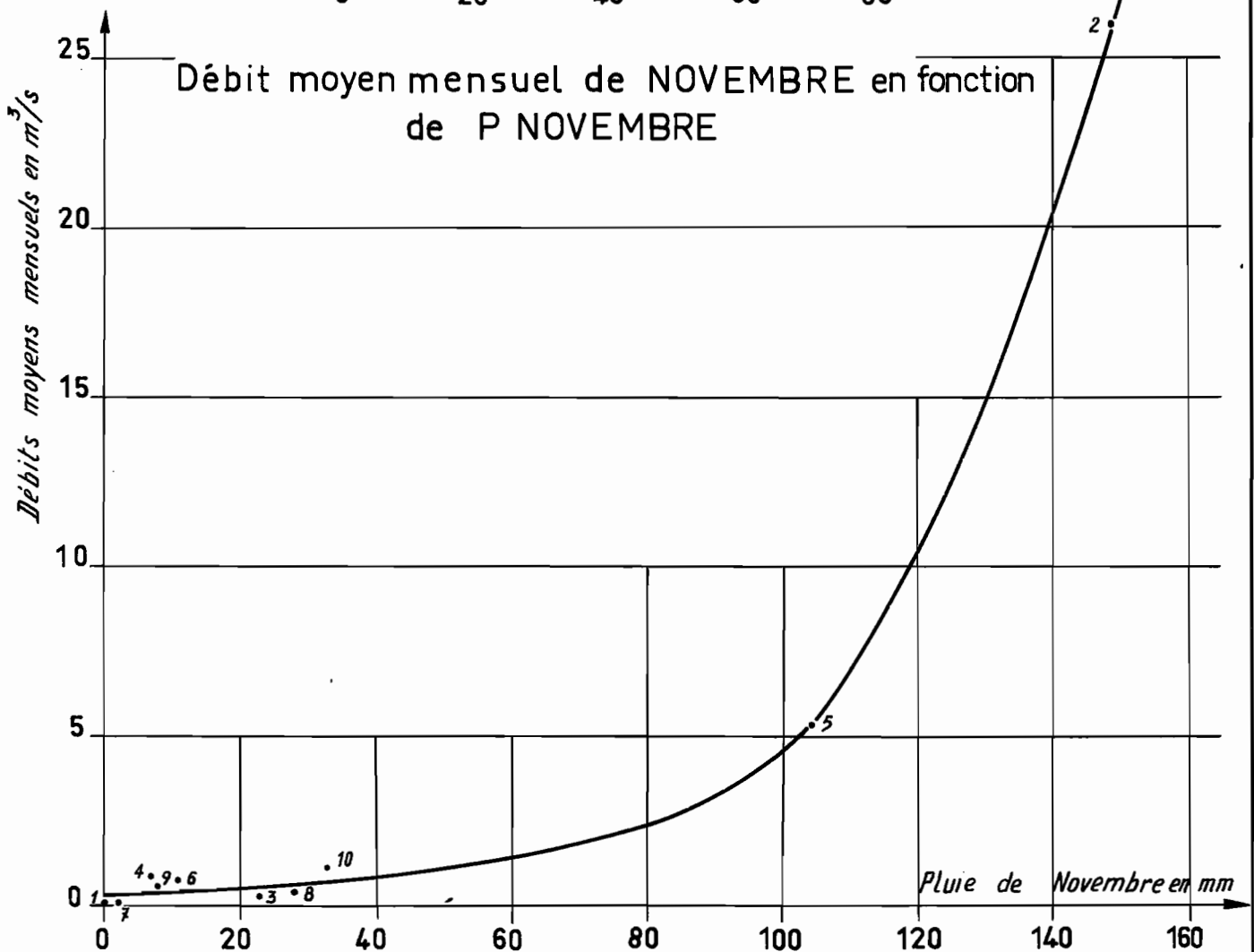
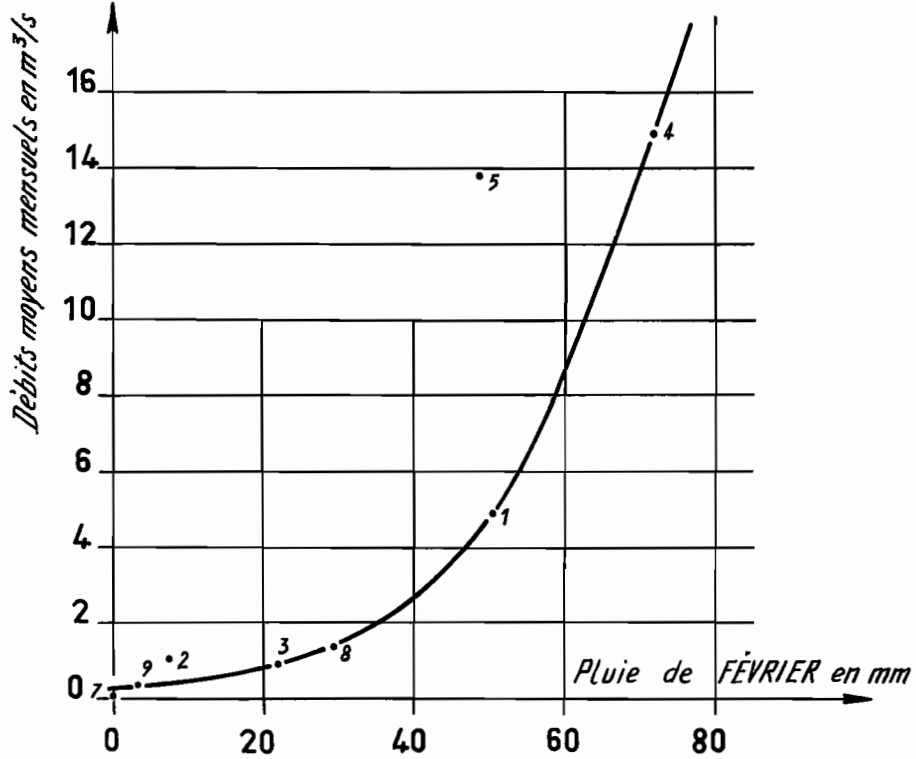
Débit moyen mensuel de JANVIER en fonction de P
 JANVIER (correction P DÉCEMBRE) Fig:3

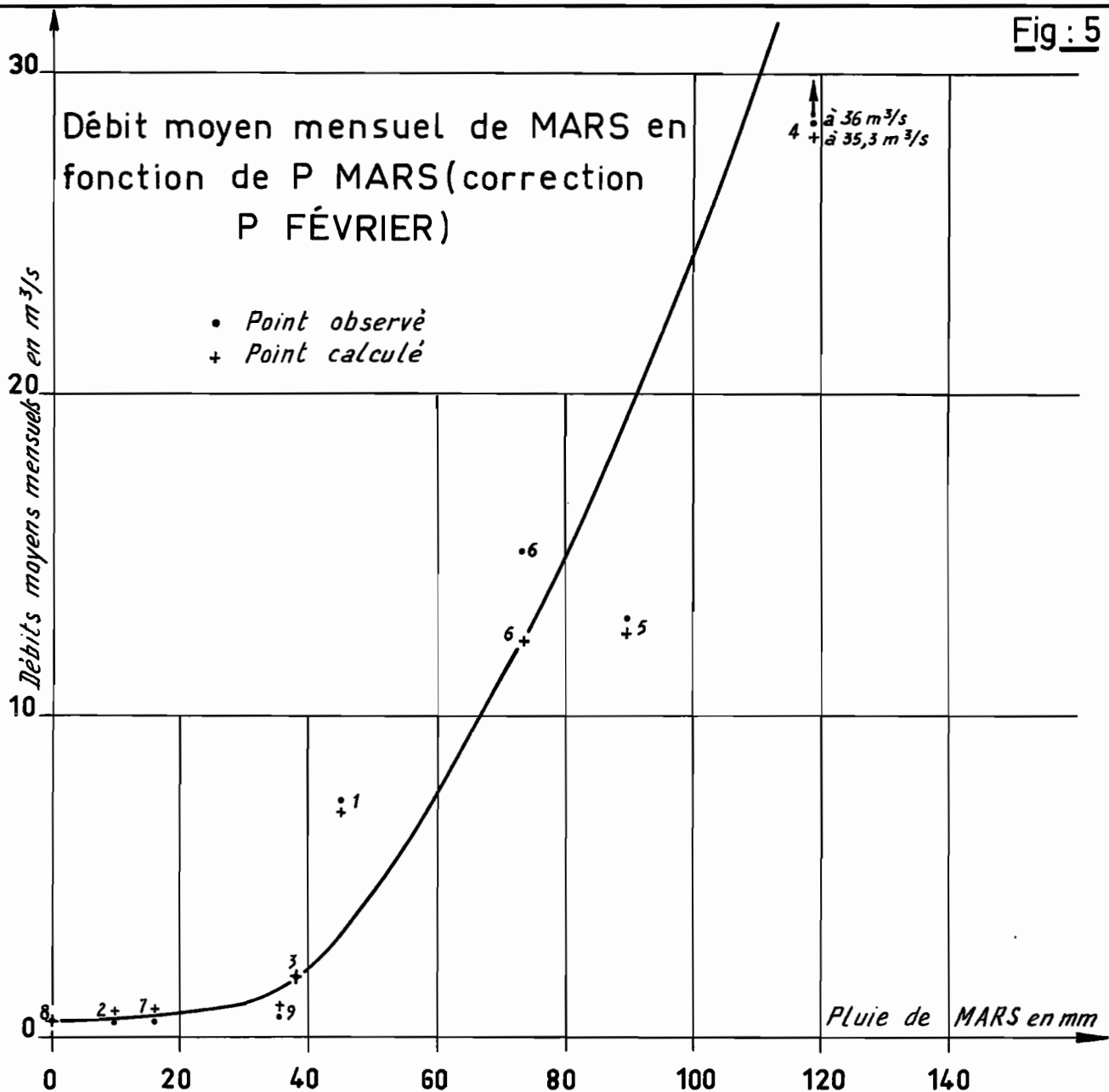


Correction ΔQ en fonction de la hauteur de précipitation
 de DÉCEMBRE en mm.

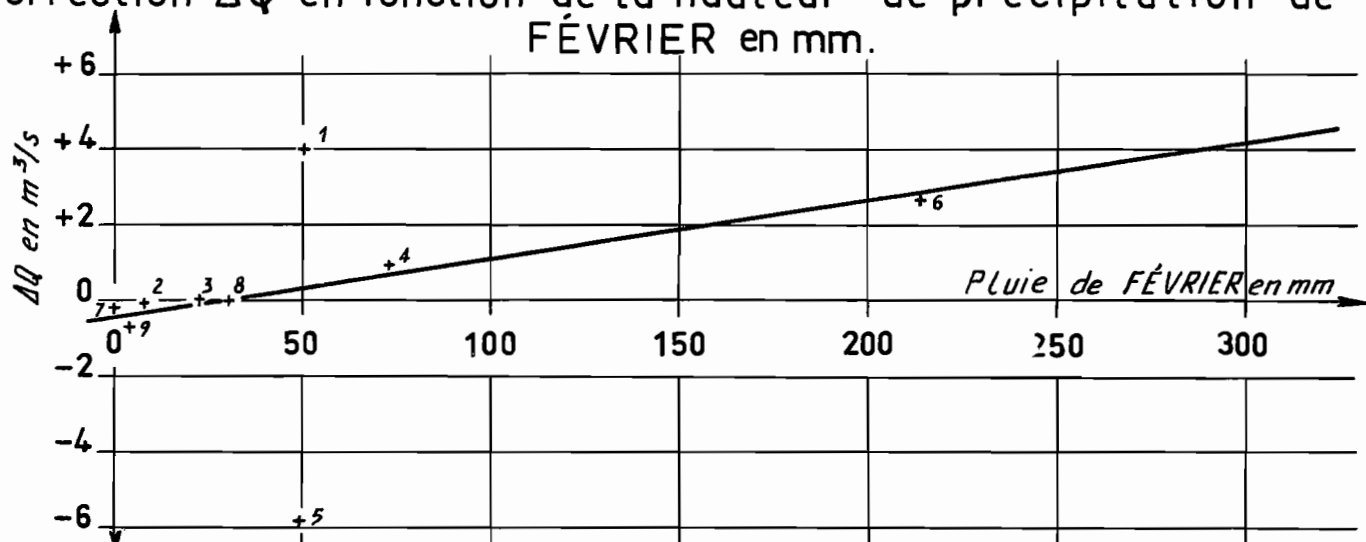


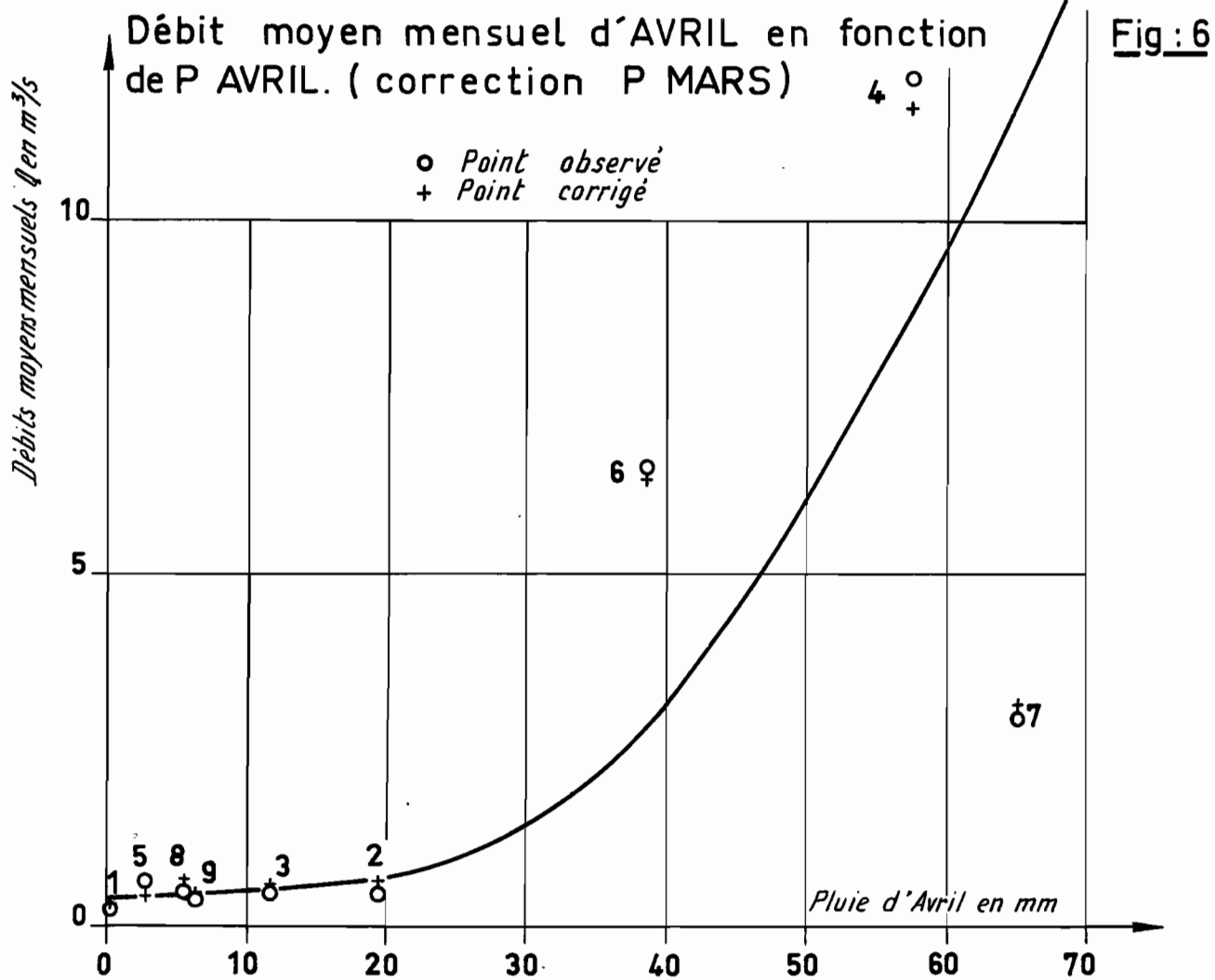
Débit moyen mensuel de FÉVRIER en fonction de P FÉVRIER Fig:4



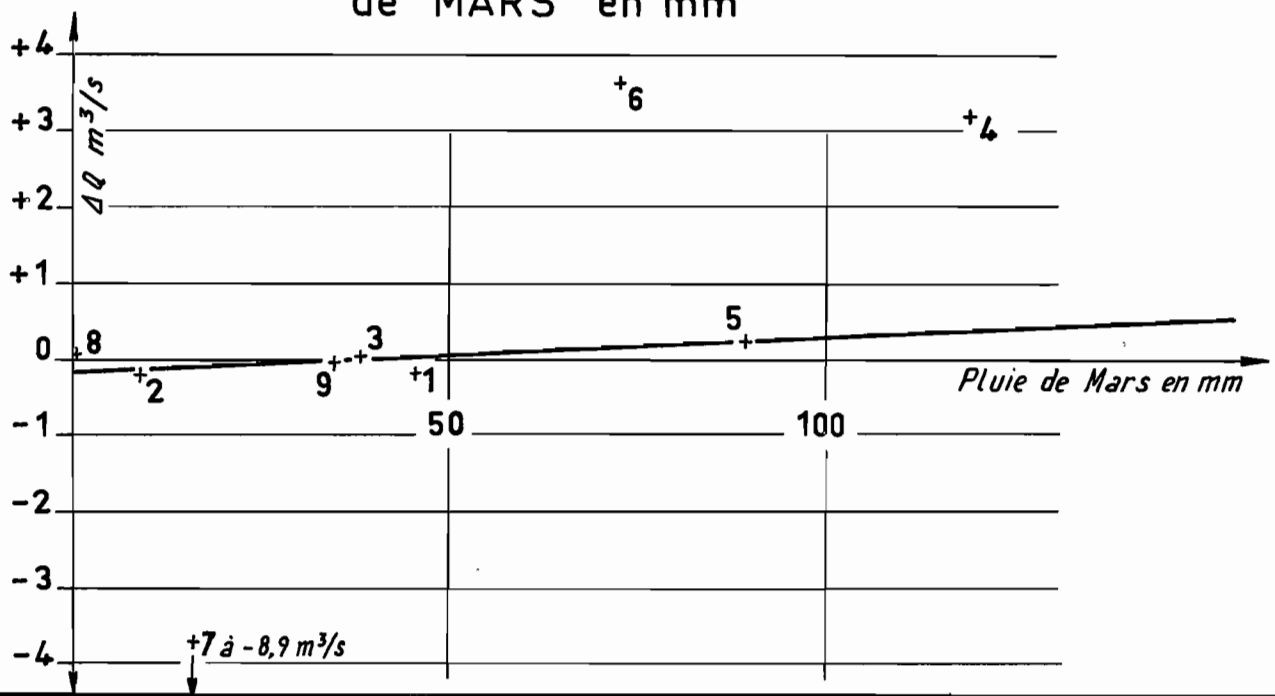


Correction ΔQ en fonction de la hauteur de précipitation de FÉVRIER en mm.





Correction ΔQ en fonction de la hauteur de précipitation de MARS en mm



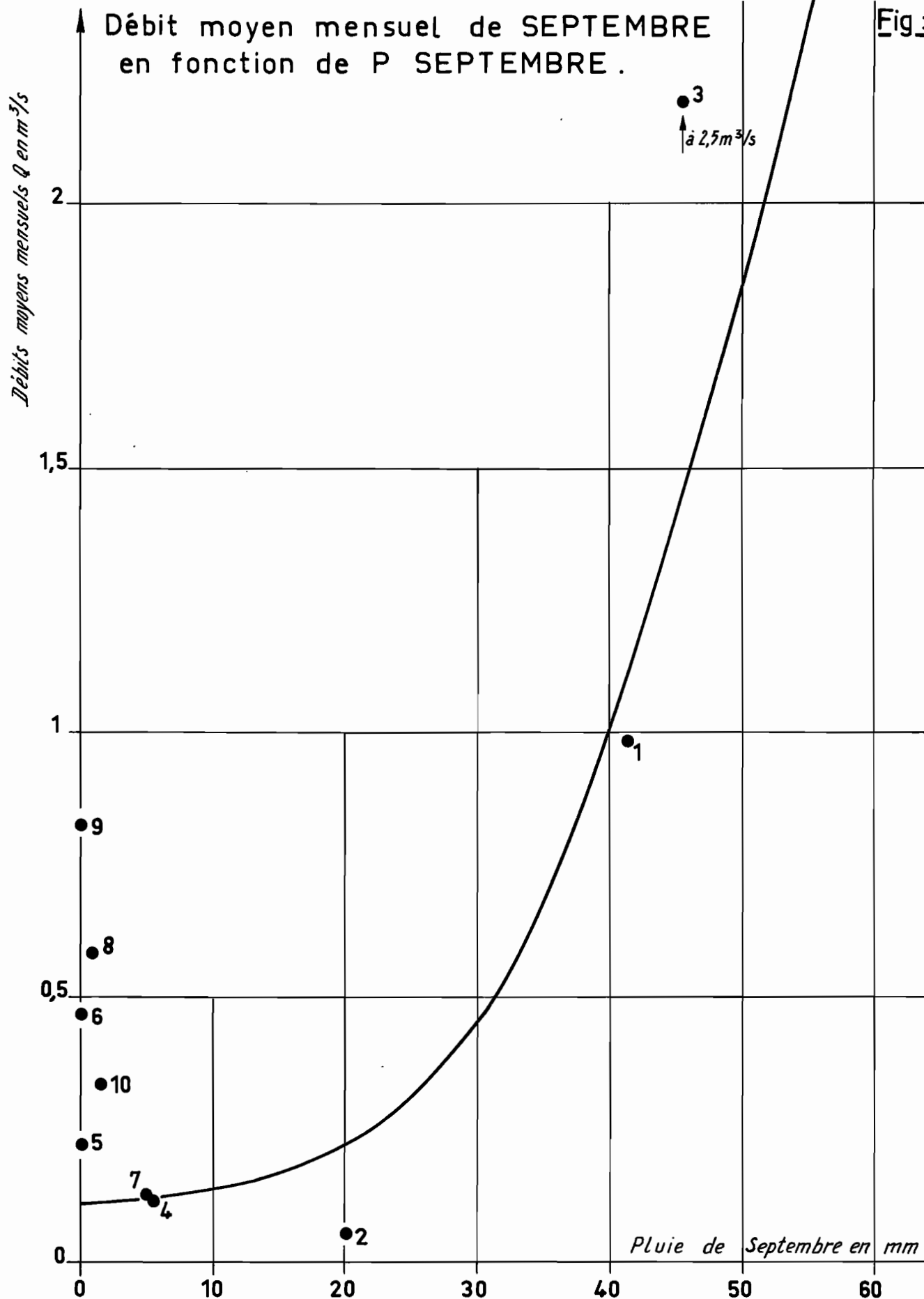
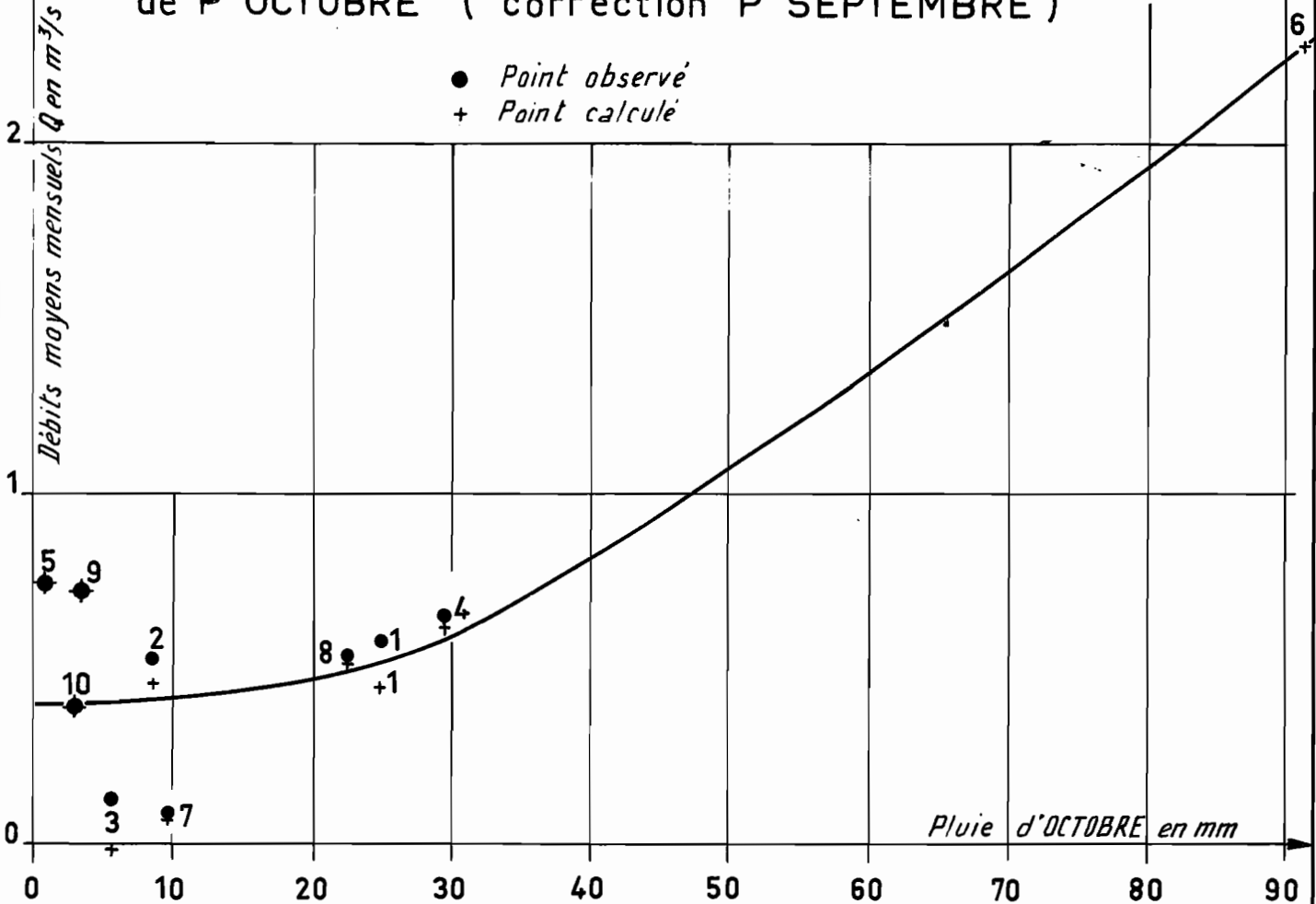
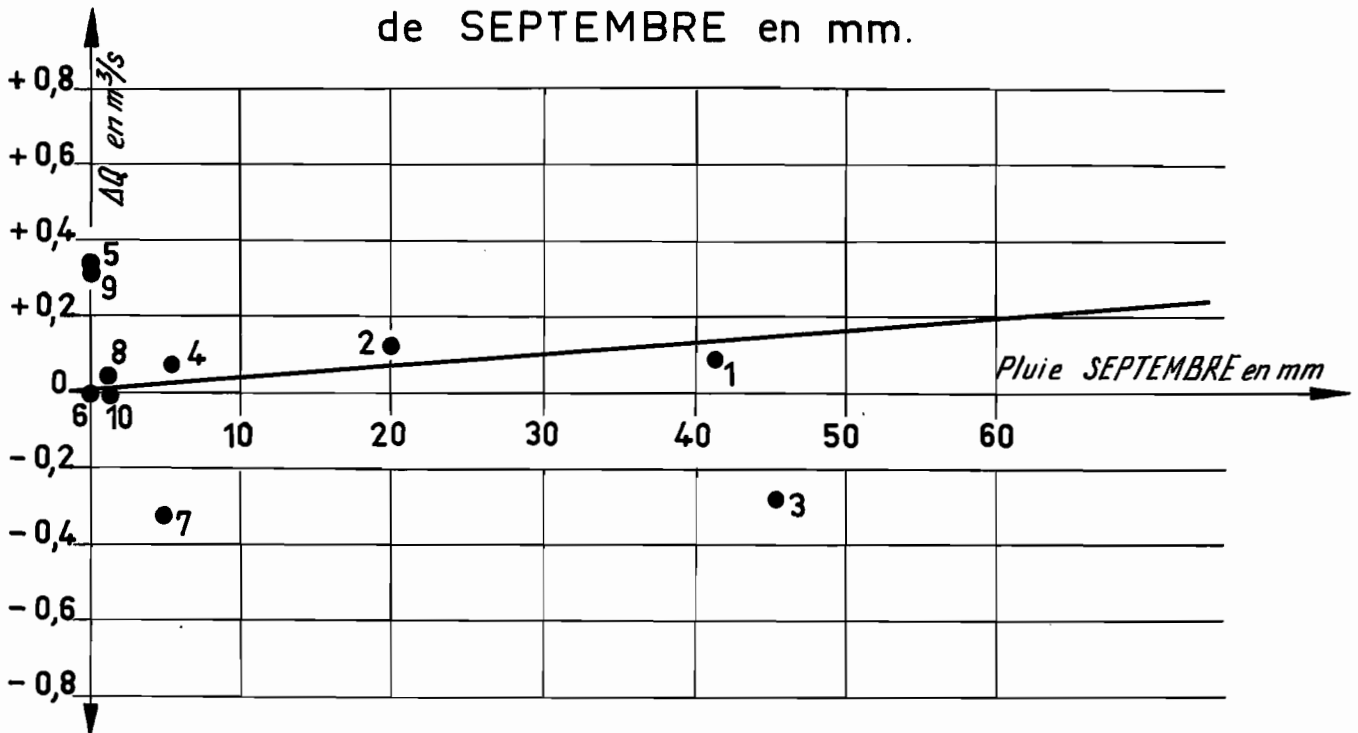


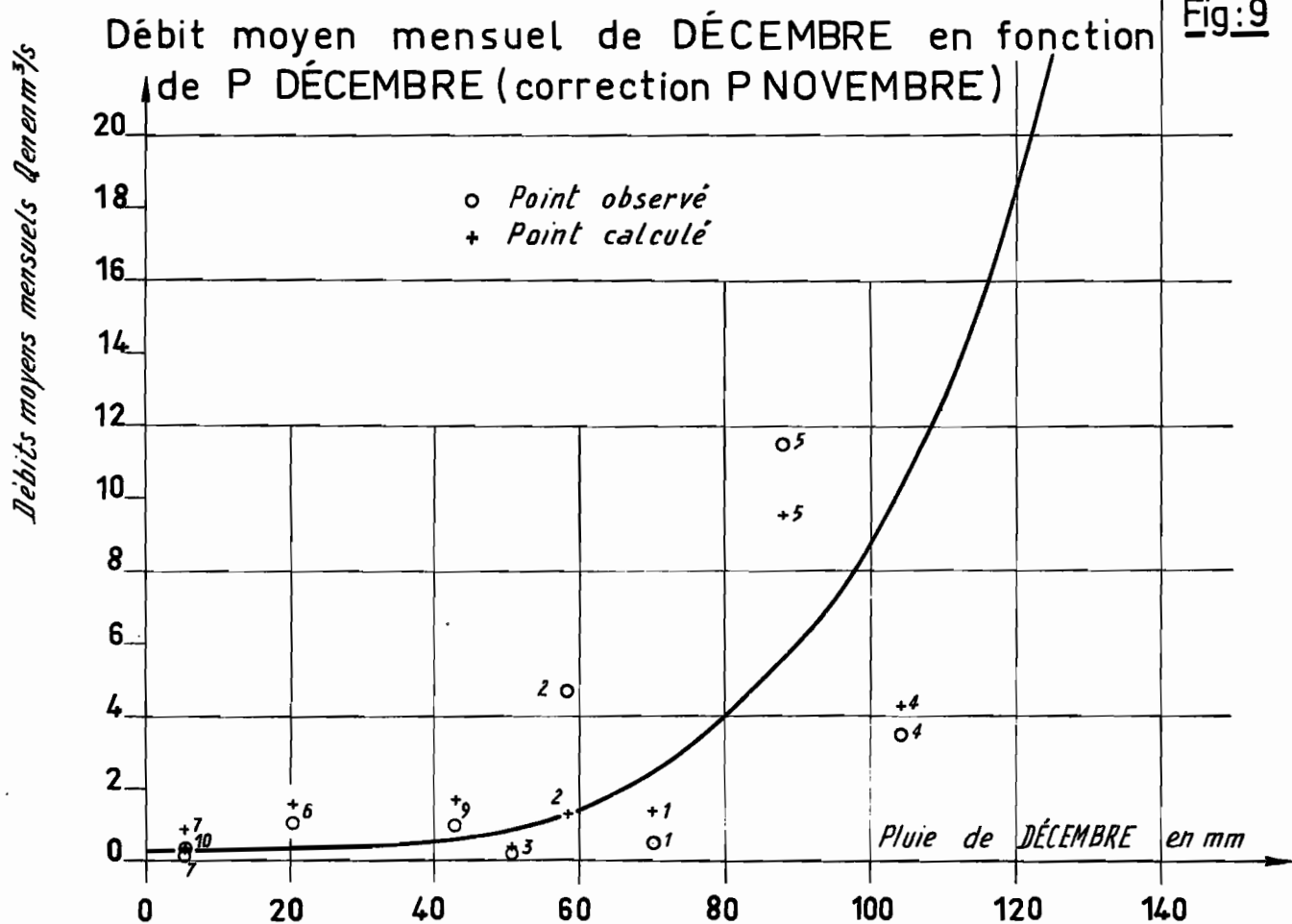
Fig: 8

Débit moyen mensuel de OCTOBRE en fonction de P OCTOBRE (correction P SEPTEMBRE)

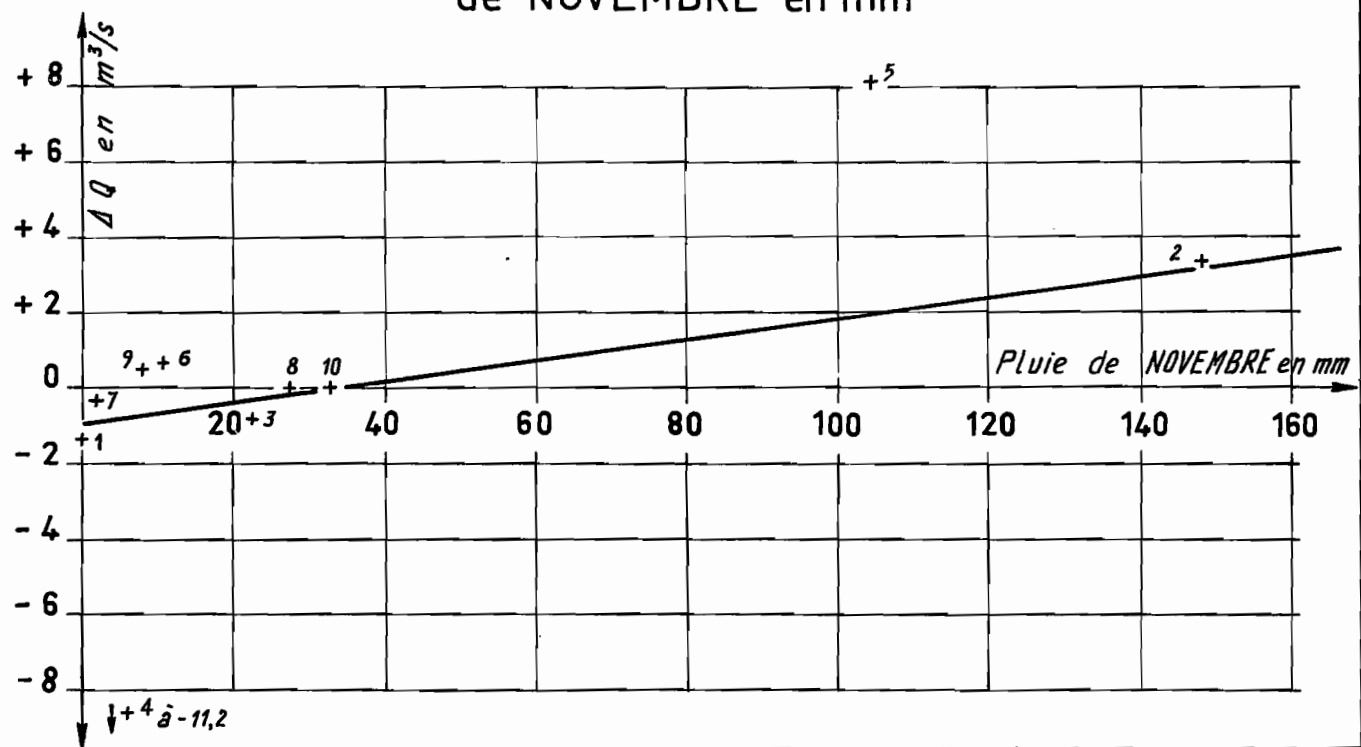


Correction ΔQ en fonction de la hauteur de précipitation de SEPTEMBRE en mm.





Correction ΔQ en fonction de la hauteur de précipitation de NOVEMBRE en mm



trois mois suivants (Juin à Août) les régressions sont absolument sans signification. Il s'agit de mois pendant lesquels les débits sont très faibles et n'ont qu'une influence extrêmement réduite sur le total annuel. En conséquence on a adopté pour ces différents mois la moyenne des débits mensuels observés.

- Septembre : la corrélation est établie avec la seule pluie de Septembre ; la pluie d'Août n'intervient pas. La corrélation est médiocre mais utilisable.
- Octobre : le facteur principal est la pluie d'Octobre. La pluie de Septembre apporte une légère correction sans grande importance. On note une certaine dispersion pour les faibles débits.
- Novembre : le seul facteur intervenant est la pluie de Novembre ; la corrélation est bonne.
- Décembre : le facteur principal est la pluie de Décembre. L'influence de la pluie de Novembre n'est pas sans importance pour les faibles débits. La corrélation est médiocre.

Si au total les résultats pris mois par mois ne sont pas très encourageants, les écarts se compensent d'un mois sur l'autre, soulignant le fait que les écarts sont souvent dus à des reports d'influence d'un mois sur l'autre, suivant la place du ou des épisodes pluvieux à l'intérieur de deux mois successifs. Les résultats peuvent donc être utilisés pour améliorer la connaissance de la distribution statistique des modules annuels. En ce qui concerne la répartition mensuelle des débits, il est préférable de s'en tenir à l'échantillon directement observé.

1.3. - L'échantillon finalement retenu pour l'étude statistique des modules est donné sur le tableau II. On remarquera que les débits mensuels de Juin à Août, pour la période extrapolée, ont la même valeur tous les ans. Les régressions n'étant d'aucun secours, on a en effet remplacé les débits moyens qui auraient dû être calculés par cette méthode, par les valeurs moyennes de la période d'observations, ceci afin de pouvoir calculer le module. Etant donné la modestie des débits ainsi mis en jeu, l'influence de ce procédé sur la valeur du module est pratiquement négligeable. Les valeurs 0 qui apparaissent pour des débits moyens mensuels de la période étendue sont simplement des résultats de calcul ; ils ne signifient nullement que le débit ait pu être réellement nul pour les mois intéressés.

Débits mensuels et annuels de
1^{er} Oued MASSA à TANKIST
(m³/s)

An	J	F	M	A	M	J	J	A	S	U	N	D	Mod. obs.	Mod. Cal.
37	0,20	0,26	0,19	0,25	0,37	0,50	0,44	0,43	0,11	2,36	0,40	0		0,50
38	1,62	0,76	0,45	0,95	0,53	0,50	0,44	0,43	0,13	1,55	0,55	117		10,60
39	2,50	7,30	1,02	1,57	0,51	0,50	0,44	0,43	0,11	0,50	1,60	3,00		1,58
40	3,70	27,4	1,86	0,37	0,32	0,50	0,44	0,43	0,11	4,20	0,85	0,55		3,30
41	30,9	1,15	1,00	6,90	0,65	0,50	0,44	0,43	0,13	0,44	1,12	0,90		3,75
42	0,18	19,1	1,37	0,50	0,35	0,50	0,44	0,43	0,29	0,63	1,50	1,15		2,08
43	0	0,33	3,43	1,10	0,57	0,50	0,44	0,43	0,18	0,45	0,45	0,50		0,70
44	0	6,30	0,88	0,28	0,38	0,50	0,44	0,43	3,80	0,62	1,10	0,80		1,27
45	0,40	0,26	0,08	0,20	0,34	0,50	0,44	0,43	0,11	0,40	0,65	0,55		0,36
46	1,68	0,65	6,62	9,67	0,75	0,50	0,44	0,43	0,63	0,51	0,58	0,10		1,88
47	19,9	36,0	3,77	0,40	2,58	0,50	0,44	0,43	0,12	0,43	1,70	1,50		5,45
48	0,75	5,60	1,00	30,9	4,52	0,50	0,44	0,43	0,11	0,39	0,30	1,45		3,81
49	1,00	0,38	6,80	20,5	0,78	0,50	0,44	0,43	0,11	0,39	0,55	29		5,11
50	2,30	0,25	0,10	0,25	0,56	0,50	0,44	0,43	0,985	0,588	0,123	0,436		0,58
51	1,13	4,85	7,32	0,275	0,201	0,114	0,129	0,114	0,052	0,532	26,00	4,68	3,74	3,58
52	1,34	1,03	0,515	0,477	0,230	0,142	0,111	0,115	2,50	0,130	0,239	0,130	0,58	0,63
53	9,86	0,875	1,64	0,570	0,420	0,280	0,220	0,180	0,120	0,650	0,950	3,54	1,63	2,66
54	2,57	14,7	35,9	12,0	0,469	0,250	0,200	0,150	0,220	0,750	5,37	13,5	7,14	6,36
55	3,61	13,8	13,0	0,647	0,350	0,280	0,200	0,160	0,466	2,28	0,749	1,00	2,98	2,78
56	10,3	124	15,1	6,47	0,408	0,191	0,159	0,156	0,125	0,094	0,089	0,095	12,3	12,3
57	0,092	0,077	0,517	2,98	0,718	1,04	0,727	0,692	0,582	0,532	0,448	114	10,4	11,0
58	0,859	1,43	0,439	0,472	0,535	0,802	0,763	0,879	0,822	0,716	0,532	1,01	0,77	0,47
59	0,369	0,325	0,619	0,351	0,714	0,625	0,605	0,592	0,335	0,397	1,12	0,332	0,53	0,46
60	21,4	0,673	0,728	0,735	0,509	0,597	0,737	0,567	0,559	0,768	0,431	0,489	2,23	
61	0,581	0,574	0,590	0,464	0,320	0,569	0,387	0,308	0,883	1,58	13,3	1,83	1,7	
62	1,60	1,75	82,5	10,1	0,784	0,584	0,490	0,464	0,446	2,10	28,4	5,21	11,29	
63	42,9	57,4	2,94	1,36	1,84	0,992	0,984	1,01	0,789	0,53	0,960	103	17,76	
64	4,98	1,91	1,57	21,5	1,20	0,886	0,758	0,798	0,621	0,655	0,496	32,00	5,63	
65	1,52	23,5	0,328	0,316	0,413	0,484	0,361	0,321	0,246	12,5	5,15	0,502	3,67	
66	0,352	0,402	0,593	0,431	0,326	0,295	0,287	0,313	0,282	0,314	8,25	0,291	1,00	
67	0,379	3,22	9,26	4,92	1,81	0,444	0,378	0,470						
68														

Les chiffres soulignés correspondent aux observations directes de débits.

Répétons que les valeurs reconstituées relatives aux débits mensuels de 1937 à 1950 ne seront pas retenues pour les calculs ultérieurs, les coefficients de répartition mensuelle n'étant calculés que pour la période 1951 à 1966 correspondant aux observations directes.

II - FONCTIONNEMENT SIMULE du BARRAGE

2.1. - Constitution d'un échantillon fictif de 300 années

On a commencé par analyser l'échantillon de débits moyens annuels fournis par le tableau II et composé de 30 valeurs. Cette analyse a été faite au moyen d'une fonction gamma incomplète de la forme :

$$\frac{1}{\Gamma(\gamma)} \int_0^u u^{\gamma-1} e^{-u} du$$

avec $u = a(x - x_0)$ (loi de Pearson III).

Ce type de distribution statistique est assez classique pour les modules annuels.

Le résultat du calcul des paramètres effectué par la méthode du maximum de vraisemblance, est présenté sur le tableau de la figure 10. Sur ce tableau, x_0 est représenté par Q_0 et $S = \frac{1}{a}$. Le tableau donne également les valeurs du module correspondant à un certain nombre de fréquences présélectionnées. Il s'agit naturellement de fréquences de non dépassement. La valeur moyenne du module ressort à $4,181 \text{ m}^3/\text{s}$; la valeur médiane à $2,713 \text{ m}^3/\text{s}$. De par sa nature, cette loi impose à la variable une borne inférieure qui est égale ici à $0,314 \text{ m}^3/\text{s}$. Les résultats sont représentés graphiquement sur la figure 11. On peut voir que l'ajustement est excellent pour les modules inférieurs à 10 mètres cubes/seconde. Au-dessus, la loi utilisée a tendance à les sous-estimer sans du reste qu'on puisse en être certain étant donné la faiblesse de l'échantillonnage dans cette gamme de débits. De toute manière, cette sous-estimation irait dans le sens de la sécurité d'une part, et d'autre part elle n'est pas tellement importante pour notre projet car ces forts modules sont généralement provoqués par de fortes crues dont une partie importante est déversée et ne participe par conséquent pas à la fourniture d'eau.

De la période d'observations directes, on tire les coefficients mensuels de répartition de débits pour chaque année, coefficients qui sont obtenus en divisant chaque débit mensuel par le module. Les résultats sont

STATION NUMERO 26250101

PARAMETRES LDI GAMMA CALCULES QU MINIMAL CHOISI =0

MOYENNE 4.181 QD= 0.314 S= 4.928 GAMMA= 0.78468E 00

FREQ .01 MOD AN 0.327 FREQ .99 MOD AN 20.478

FREQ .02 MOD AN 0.345 FREQ .98 MOD AN 17.216

FREQ .05 MOD AN 0.414 FREQ .95 MOD AN 12.945

FREQ .10 MOD AN 0.557 FREQ .90 MOD AN 9.760

FREQ .20 MOD AN 0.931 FREQ .80 MOD AN 6.640

FREQ .25 MOD AN 1.155 FREQ .75 MOD AN 5.656

FREQ .30 MOD AN 1.404 FREQ .70 MOD AN 4.862

FREQ .40 MOD AN 1.988 FREQ .60 MOD AN 3.636

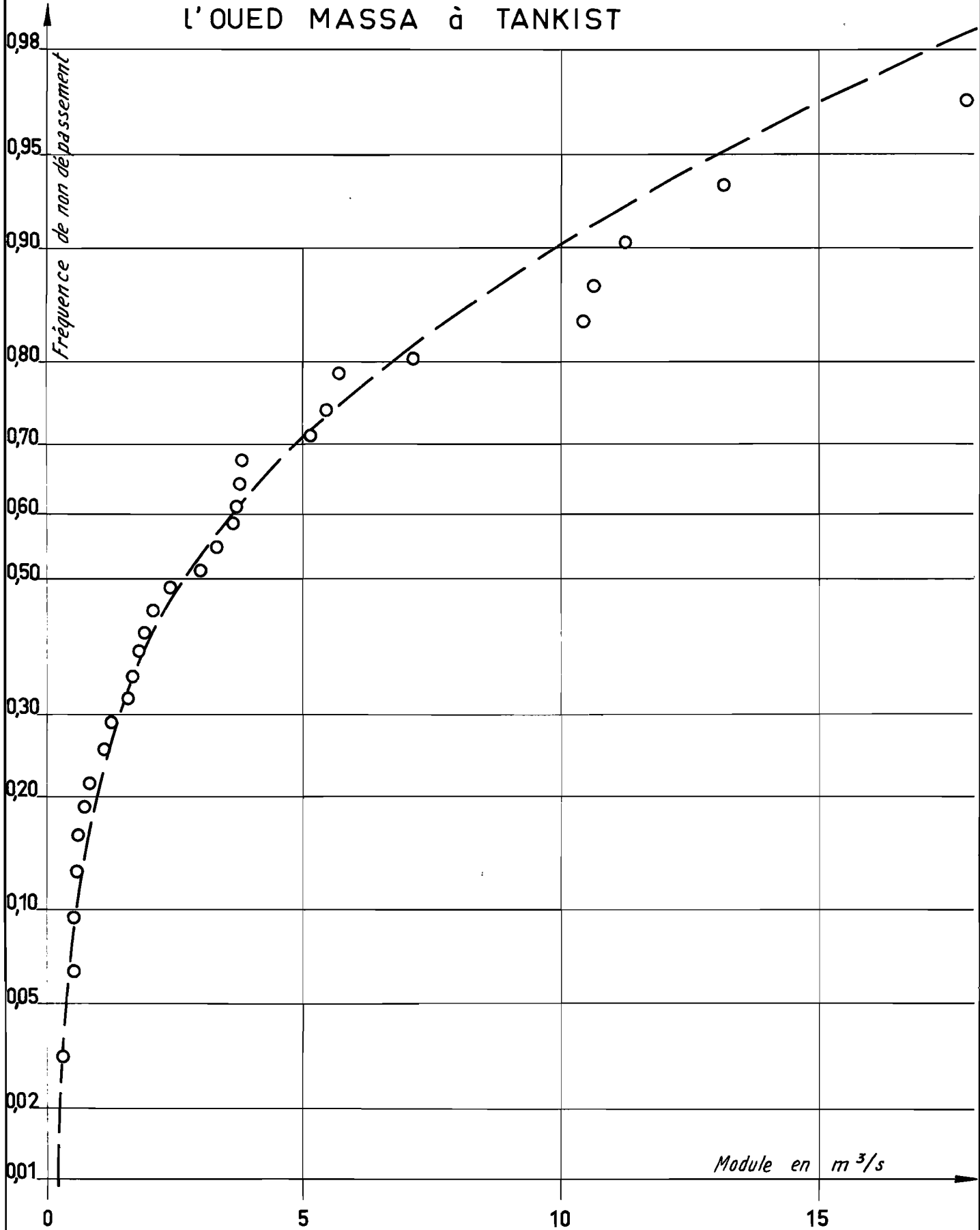
FREQ .50 MOD AN 2.713 FREQ .50 MOD AN 2.713

les modules annuels sont donnés en m^3/s -

Fig: 10

Distribution statistique des modules de l'OUED MASSA à TANKIST

Fig:11



ÉLECTRICITÉ DE FRANCE. INSPECTION GÉNÉRALE POUR LA COOPÉRATION HORS MÉTROPÔLE

C? TUBE

AO

DATE :

DESSINÉ :

E^{ON} | | | |

DIV. 261.348

présentés sur le tableau de la figure 12. On remarquera que chaque année a été numérotée à droite du tableau par un chiffre variant de 1 à 16. Ces chiffres auraient pu être attribués dans un ordre absolument quelconque. Ils serviront à tirer au hasard une série de coefficients mensuels quand on en aura besoin. Le tableau de la figure 12 constitue ce qu'on appelle un réservoir de formes, les formes étant numérotées de 1 à 16.

La constitution de l'échantillon fictif se fait en tirant au hasard, au moyen d'un générateur à congruence de nombres aléatoires, un nombre de sept chiffres compris entre 0 et 1 et représentant une fréquence. Ceci est fait sur l'ordinateur. On détermine pour chaque valeur de la fréquence tirée au hasard, le module correspondant sur la courbe de distribution définie par la fonction statistique gamma citée plus haut. Un second tirage au sort permet d'extraire une des 16 formes de la figure 12 et, par application de cette forme, de définir la répartition mensuelle du module précédemment établi.

On a ainsi tiré un échantillon total de 300 séries de 12 débits moyens mensuels dont la liste est disponible sur demande mais ne présente pas en soi un grand intérêt, ce qui importe ce sont les résultats d'exploitation qui correspondent à ces trois siècles.

2.2. - Programme de simulation

Un aménagement est caractérisé, une fois que le site a été choisi, par la courbe dite de remplissage exprimant le volume de la retenue en fonction de la cote du plan d'eau, par la cote maximale admissible dans la retenue et éventuellement par la cote minimale c'est-à-dire celle en dessous de laquelle on s'impose de ne pas descendre. Avant toute simulation de fonctionnement de l'ouvrage, il sera donc nécessaire d'introduire ces caractéristiques dans le programme sous une forme convenable.

En ce qui concerne la courbe de remplissage $V(H)$, on a choisi de la découper en fragments de paraboles dont les coefficients, calculés à la machine, sont donnés sur la figure 13 : C1 est le coefficient du terme de degré le plus élevé, C2 est le coefficient linéaire et C3 est la constante. Les valeurs de ces coefficients sont imprimées sous une forme exponentielle : c'est-à-dire que le chiffre venant avant la lettre conventionnelle D (qui signifie double précision) doit être multiplié par une puissance de 10 indiquée par le chiffre positif ou négatif situé après D. Par exemple pour le quatrième tronçon de parabole désigné par $L = 4$, l'équation serait la suivante :

$$V = 0,1345962 \quad H^2 + 3,49651 \quad H + 4C$$

STATION NUMERO 28250101

DEBITS MOYENS MENSUELS DIVISES PAR MODULE DE L ANNEE

ANNEE	MODULE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	
51	3.783	0.299	1.282	1.935	0.073	0.053	0.030	0.034	0.030	0.014	0.141	6.873	1.237	1
52	0.580	2.311	1.776	0.888	0.823	0.397	0.245	0.191	0.198	4.311	0.224	0.412	0.224	2
53	1.609	6.129	0.544	1.019	0.354	0.261	0.174	0.137	0.112	0.075	0.404	0.591	2.200	3
54	7.173	0.358	2.049	5.005	1.673	0.065	0.035	0.028	0.021	0.031	0.105	0.749	1.882	4
55	3.045	1.185	4.532	4.269	0.212	0.115	0.092	0.066	0.053	0.153	0.749	0.246	0.328	5
56	13.099	0.786	9.466	1.153	0.494	0.031	0.015	0.012	0.012	0.010	0.007	0.007	0.007	6
57	10.200	0.009	0.008	0.051	0.292	0.070	0.102	0.071	0.068	0.057	0.052	0.044	11.176	7
58	0.772	1.113	1.853	0.569	0.612	0.693	1.039	0.989	1.139	1.065	0.928	0.689	1.309	8
59	0.532	0.694	0.611	1.164	0.660	1.342	1.175	1.137	1.113	0.630	0.746	2.105	0.624	9
60	2.349	9.109	0.286	0.310	0.313	0.217	0.254	0.314	0.241	0.238	0.327	0.183	0.208	10
61	1.782	0.326	0.322	0.331	0.260	0.180	0.319	0.217	0.173	0.495	0.887	7.463	1.027	11
62	11.202	0.143	0.156	7.365	0.902	0.070	0.052	0.044	0.041	0.040	0.187	2.535	0.465	12
63	17.903	2.396	3.206	0.164	0.076	0.103	0.055	0.055	0.056	0.044	0.037	0.054	5.753	13
64	5.614	0.887	0.340	0.280	3.829	0.214	0.158	0.135	0.142	0.111	0.117	0.088	5.700	14
65	3.803	0.400	6.179	0.086	0.083	0.109	0.127	0.095	0.084	0.065	3.287	1.354	0.132	15
66	1.011	0.348	0.397	0.586	0.426	0.322	0.292	0.284	0.309	0.279	0.310	8.158	0.288	16

Fig : 12

Courbes de remplissage de l'OUED MASSA -
(coefficients C des divers tronçons de parabolles)

VALEURS DE C

	C(1,L)	C(2,L)	C(3,L)
L = 1	0.1969697D-01	-0.3484848D-01	0.0
L = 2	0.6145485D-01	0.3041806D 00	0.2000000D 01
L = 3	0.9351257D-01	0.1438925D 01	0.1000000D 02
L = 4	0.1345962D 00	0.3496510D 01	0.4000000D 02
L = 5	0.1517131D 00	0.6743757D 01	0.1000000D 03
L = 6	0.8333333D-01	0.9916667D 01	0.1655000D 03
L = 7	0.4241071D 00	0.1145536D 02	0.2280000D 03
L = 8	0.618401D 00	0.1279563D 02	0.3120000D 03

VALEURS DE HP(L)

L	HP(L) EN METRES
1	52.00
2	63.00
3	72.20
4	84.00
5	95.80
6	104.00
7	110.00
8	116.00
9	122.00

Fig : 13

Les valeurs de HP désignent les cotes des points séparant les tronçons de paraboles sur la courbe de remplissage. La loi $H(V)$ est tirée de $V(H)$ par résolution de l'équation du second degré ; un test approprié permet d'éliminer la racine qui ne convient pas. $V(H)$ et $H(V)$ sont calculés sur ordinateur par des sous-programmes que l'on appelle chaque fois qu'on en a besoin.

L'aménagement étant défini par les trois caractéristiques que l'on vient de préciser et la courbe de remplissage ayant été mise sous une forme telle qu'elle puisse être utilisée par l'ordinateur, il s'agit d'établir un programme de calcul permettant de traiter les données des trois siècles "d'observations" en fonction des consignes d'exploitation du barrage pour les diverses solutions adoptées pour la retenue.

Le détail du fonctionnement du programme est fourni par l'annexe 1. En réalité quatre programmes, du reste très voisins les uns des autres, sont disponibles suivant la nature des entrées et les résultats que l'on désire voir imprimés.

Le programme 601 est le plus général ; il permet d'introduire soit un programme de consommation comportant une rotation d'assolement d'une durée au plus égale à 10 ans, soit des programmes de fourniture à débits constants ou variables, soit n'importe quelle combinaison de tous ces programmes de consommation. En sortie, on obtient non seulement les déficits de production en m^3 et la durée des périodes de défaillance en jours pour chaque année de fonctionnement, mais également l'état de la retenue au début et à la fin de chaque mois ainsi que les volumes réellement consommés, les déficits et défaillances mois par mois.

Ces sorties sont très lourdes et conduisent à des temps de calcul très importants ainsi qu'à des volumes de papier extrêmement peu maniables. Un programme tout à fait analogue au précédent mais dans lequel sont supprimées les sorties mensuelles, POH 601A, est donné dans l'annexe 2.

Les programmes 601B et 601C jouent des rôles semblables à ceux des programmes précédents, mais sont spécialisés dans les programmes de fournitures avec rotation d'assolement. Ils ne permettent de passer qu'un programme de fourniture à la fois.

2.3. - Résultats

2.3.1. - Pour un programme avec rotation d'assolement

Le programme de consommation a été fourni par le Bureau hollandais GRONTMIJ. Les demandes sont données par les chiffres du tableau III. Les valeurs prises en considération sont celles qui sont portées sur la ligne indiquée par total/mois pour la première et la troisième année de l'assolement. Pour les trois autres années c'est la première ligne qui a été retenue. Entre les chiffres indiqués sur le tableau, il est demandé une quantité réservée de 10 millions de m^3 par an, distribués uniformément sur l'année, pour l'exploitation du Petit MASSA. Ceci a conduit, pour l'exploitation, à ajouter 0,83 millions de m^3 aux chiffres du tableau III.

Suivant la demande de la Direction de l'Hydraulique, les essais ont été conduits pour des hauteurs maximales dans la retenue de 110, 112, 114, 116 et 118 mètres, et pour des hauteurs minimales de 87, 80, 70 mètres.

Les résultats sont sortis aussi bien en déficits qu'en durées de défaillance ; les déficits sont exprimés en m^3 /an et les défaillances en nombres de jours pour lesquels le contrat de fourniture n'a pas pu être réalisé.

Le détail de ces résultats est fourni à l'Administration sous forme de tableaux sortis directement de l'ordinateur. Ils sont résumés dans le tableau IV intitulé : Répartition des durées de défaillance. Pour un essai donné (couple H_{max}, H_{min}), les chiffres portés dans le corps du tableau désignent le nombre d'années sur 300 (période de simulation) pour lesquelles la durée de défaillance est supérieure ou égale aux chiffres portés dans la première ligne du tableau ; ces durées sont exprimées en jours.

Nous avons pensé qu'il pourrait être utile de procéder à des essais supplémentaires en portant la cote maximale jusqu'à 130 mètres, ceci afin de mieux saisir les limites de possibilités du site. Les résultats du tableau IV ainsi que les valeurs obtenues par les essais complémentaires ont servi à dresser le graphique de la figure 14 qui donne, pour chaque cote minimale choisie, la variation du déficit avec la cote maximale.

2.3.2. - Pour différents programmes à débits constants

Outre les essais avec programmes de consommation variable dans l'année et comportant une rotation d'assolement, l'Administration nous a demandé de simuler le fonctionnement pour une consommation à débits constants portant sur les débits 2 m^3 /s, 2,5 m^3 /s, 3 m^3 /s, 3,5 m^3 /s, 4 m^3 /s, dans le cas de cotes maximales 110 et 116 mètres et de cotes minimales 65 et 75 mètres. Les résultats sont résumés sur le tableau V dans les mêmes conditions que pour le tableau IV.

- TABLEAU III -

CONSOMMATION PREVUE d'APRES GRONTIMJ
en millions de m³

Diverses activités	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Ass. I (1 492 ha)	1,23	1,34	1,34	0,862	0,184	0,105	0,105	0,105	0,135	1,075	1,23	1,23
Ass. III (12 571 ha)	5,95	6,10	6,10	5,100	5,950	5,300	4,400	2,65	2,650	5,370	5,95	5,95
Total/mois	7,18	7,44	7,44	5,962	6,134	5,405	4,505	2,755	2,965	6,445	7,18	7,18
Total/accumulé	7,18	14,62	22,06	28,022	34,156	39,561	44,066	46,821	49,786	56,231	63,411	70,591
Ass. II (18 500 ha)	8,75	8,98	8,98	7,46	2,28	1,30	1,30	1,30	3,89	7,90	8,75	8,75
Total/accumulé	8,75	17,73	26,71	34,17	36,45	37,75	39,05	40,35	44,24	52,14	60,89	69,64
Ass. V (2 065 ha)	1,16	1,74	1,74	2,9	2,9	4,05	4,05	4,05	4,05	2,31	1,74	1,16
Ass. III (11 935 ha)	5,65	5,80	5,80	4,82	5,65	5,02	4,20	2,51	2,51	5,10	5,65	5,65
Total/mois	6,81	7,54	7,54	7,72	8,55	9,07	8,25	6,56	6,56	7,41	7,39	6,81
Total/accumulé	6,81	14,35	21,89	29,61	38,16	47,23	55,48	62,04	68,60	76,01	83,40	90,21
Ass. III (18 500 ha)	8,75	8,98	8,98	7,46	8,75	7,80	6,50	3,89	3,89	7,90	8,75	8,75
Total/accumulé	8,75	17,73	26,71	34,17	42,92	50,72	57,22	61,11	65,00	72,90	81,65	90,21
Ass. II (24 000 ha)	11,40	11,60	11,60	9,70	2,95	1,68	1,68	1,68	5,05	10,30	11,40	11,40
Total/accumulé	11,40	23,00	34,60	44,30	47,25	48,93	50,61	52,29	57,34	67,69	79,09	90,44

NOTA : 1° - Chiffres en millions de m³.

2° - Une quantité d'eau de 10 millions de m³ par an (distribuée également) pour le Petit MASSA n'est pas encore incluse.

- TABLEAU IV -

REPARTITION DES DUREES
DE DEFAILLANCES
en FONCTION des DIVERSES SOLUTIONS ADOPTEES
pour 1^o AMENAGEMENT

Hmax	Hmin	C	≥ 1	≥ 11	≥ 21	≥ 51	≥ 101	≥ 151	≥ 201
110.0	87	213	87	86	74	53	43	36	28
110.0	80	238	62	61	56	45	39	33	27
110.0	70	251	49	49	43	34	30	24	22
112.0	87	235	65	65	56	44	39	30	26
112.0	80	250	50	50	45	34	32	26	22
112.0	70	257	43	43	37	29	23	18	18
114.0	87	243	57	57	50	39	34	29	24
114	80	258	42	42	37	30	24	21	18
114	70	264	36	35	29	22	20	17	15
116	87	255	45	45	40	33	29	25	21
116	80	266	34	33	31	24	21	19	16
116	70	270	30	30	26	20	19	17	15
118	87	260	40	39	36	26	21	19	17
118	80	271	29	28	27	21	20	18	15
118	70	273	27	27	25	19	16	13	12

Programme de consommation de la Société GRONTMIJ.
NOMBRE D'ANNÉES (SUR 300) OU LE PROGRAMME EST TOTALEMENT RÉALISÉ.

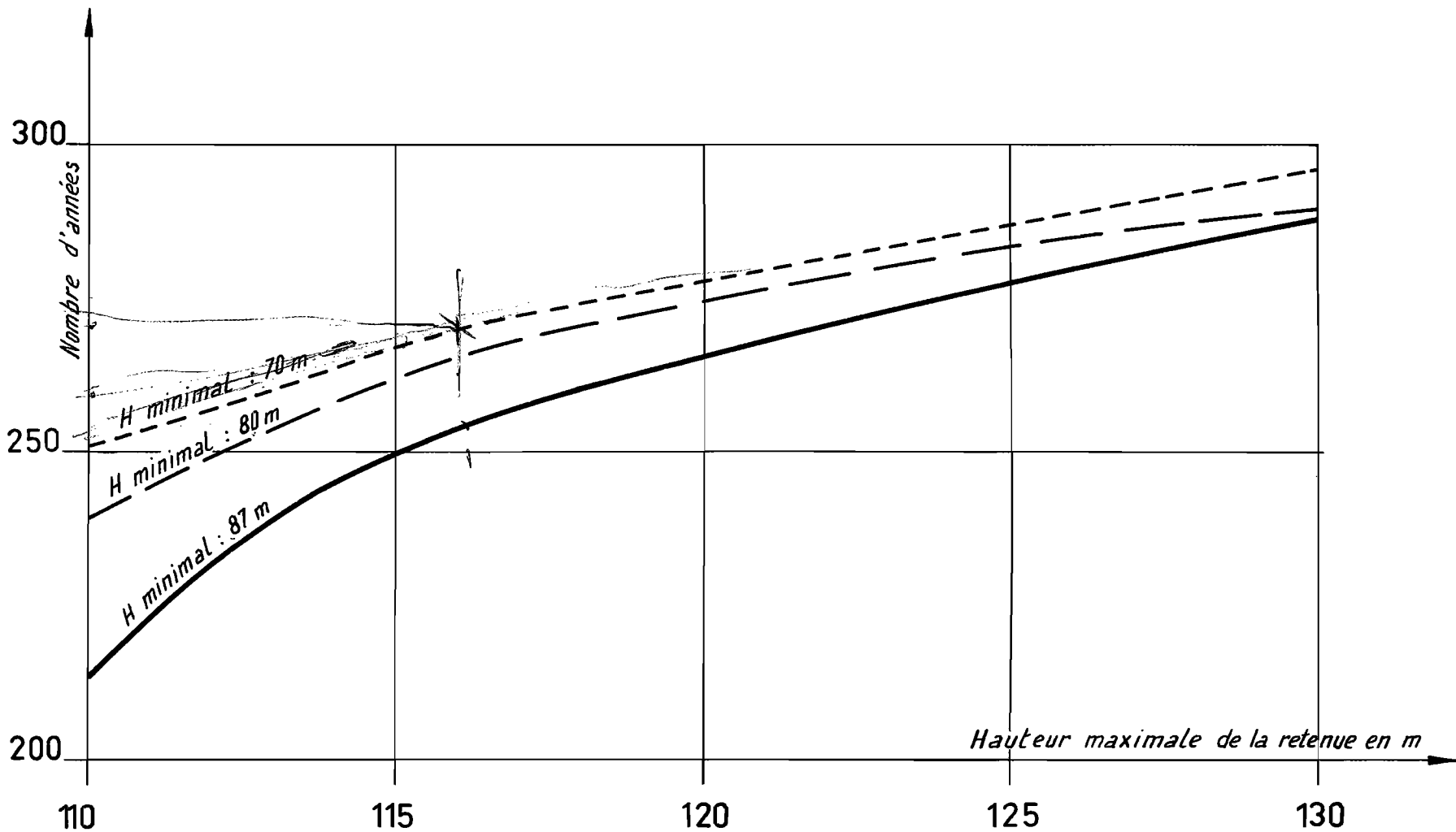


Fig : 14

- TABLEAU V -

REPARTITION des DUREES de DEFAILLANCE

Programme de consommation n° 1 (2 m ³ /s)									
Hmax	Hmin	0	1	11	21	51	101	151	201
110	65	292	8	8	7	4	3	3	3
110	75	290	10	10	10	6	5	3	3
116	65	299	1	1	1	1	1	1	0
116	75	295	5	5	4	2	2	2	2
Programme de consommation n° 2 (2,5 m ³ /s)									
110	65	276	24	24	23	16	15	12	9
110	75	271	29	28	25	18	16	13	11
116	65	289	11	11	10	8	7	5	5
116	75	287	13	12	11	9	9	7	5
Programme de consommation n° 3 (3 m ³ /s)									
110	65	244	56	55	49	39	31	25	21
110	75	238	62	60	53	46	37	29	23
116	65	268	32	32	30	24	18	16	12
116	75	264	36	35	33	26	22	18	15
Programme de consommation n° 4 (3,5 m ³ /s)									
110	65	210	90	89	78	67	60	46	35
110	75	202	98	96	86	74	65	54	40
116	65	238	62	62	56	48	41	31	24
116	75	232	68	68	62	52	47	34	29
Programme de consommation n° 5 (4 m ³ /s)									
110	65	162	138	136	121	109	93	80	59
110	75	158	142	140	129	117	96	80	62
116	65	197	103	103	94	88	70	62	47
116	75	188	112	111	101	94	75	64	52

III - EXAMEN PLUVIOMETRIQUE de la CRUE de PROJET

L'expert, dans son rapport, avait recommandé d'adopter, pour la crue de projet, une pointe de $5\ 200\ m^3/s$ correspondant aux déterminations des rapports de MM. KABBAJ et LAZAREVIC. L'étude complémentaire a porté sur l'examen des épisodes pluvieux dont on dispose depuis l'année 1937.

Pour l'établissement des régressions, la période de recouvrement entre observations pluviométriques et observations hydrométriques, est malheureusement très courte. Le tableau VI donne la liste des crues observées sur l'Oued MASSA (débits de pointe en m^3/s et volume en millions de m^3) en regard de la pluie moyenne totale sur le bassin de l'épisode pluvieux ayant provoqué la crue, lorsque les relevés pluviométriques existent.

On a tout d'abord recherché la relation entre le débit de pointe et le volume de la crue. Les points correspondant aux éléments du tableau VI ont été portés sur la figure 15 ; sans rechercher d'une façon approfondie la nature de cette relation, la figure montre que la corrélation est assez serrée. Compte tenu de la précision assez faible des données brutes utilisées, il sera donc indifférent, pour la comparaison des crues avec la pluviométrie, d'utiliser les volumes ou les débits de pointe.

Les débits ont été portés en regard des totaux moyens des épisodes pluvieux correspondants sur le graphique de la figure 16. On note une dispersion appréciable et il est bien difficile de se baser sur ces données pour entreprendre une opération de régression au sens strict. Par contre, on notera que le point se rapportant à la plus forte crue se détache très nettement des autres ; le total de l'épisode pluvieux qui lui correspond est de 189 mm. Il est intéressant de rechercher dans la série des données qu'on possède s'il existe d'autres épisodes du même ordre ou nettement supérieurs à celui-ci.

L'examen des totaux mensuels montre que les trois plus forts sont ceux de Décembre 1938 avec 189 mm, Octobre 1940 avec 153 mm et Janvier 1941 avec 159 mm.

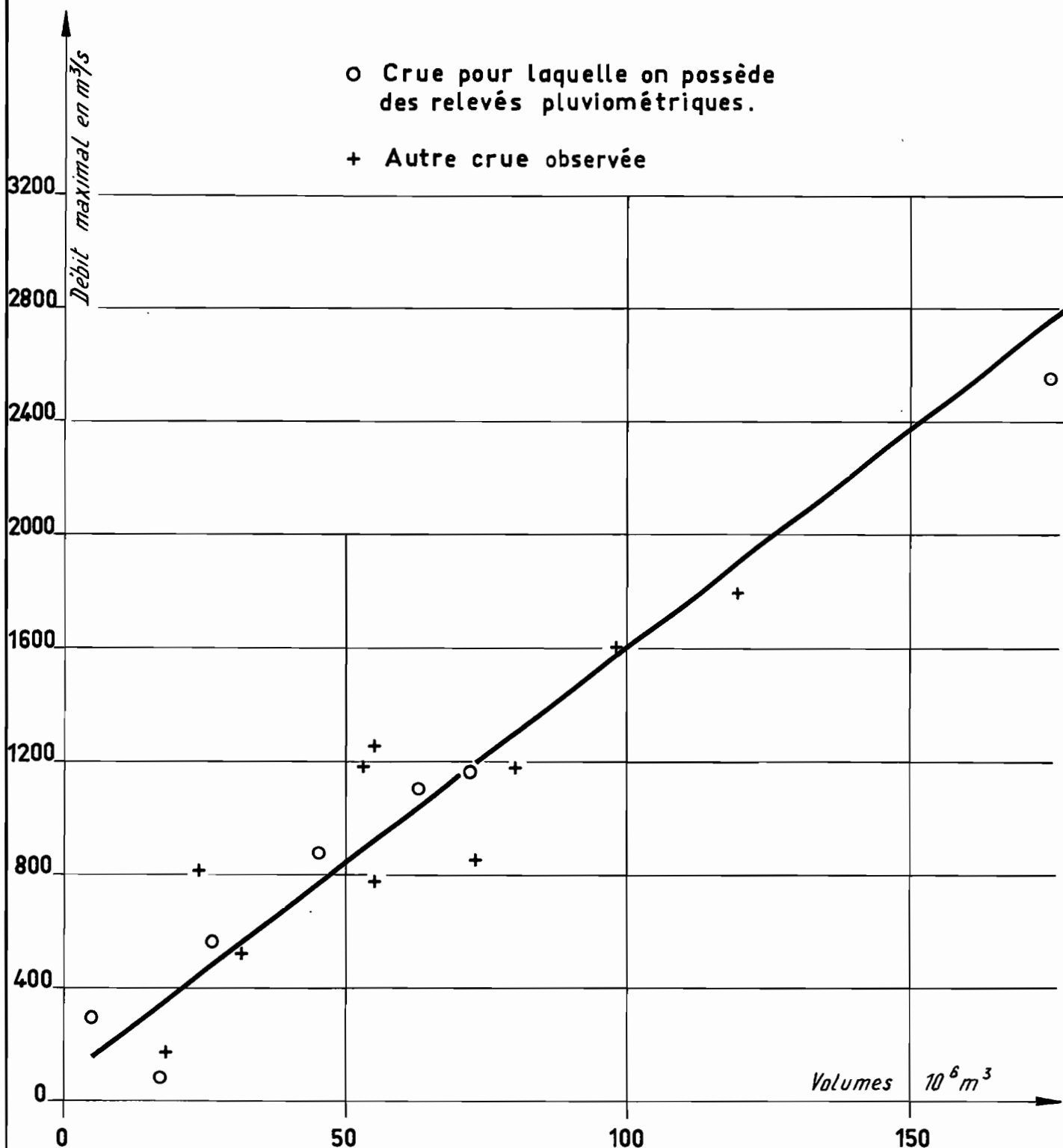
Le total de Décembre 1938 correspond en fait à deux épisodes donnant des hauteurs moyennes à peu près égales et éloignées dans le temps par une période de 10 jours. Compte tenu de ce que nous connaissons de la réaction du bassin du MASSA, il est peu probable que de telles pluies aient pu donner un débit moyen supérieur à celui de Décembre 1957. Le total d'Octobre 1940 inclut un épisode voisin de 124 mm et une série de pluies plus modestes disséminées dans le mois. Enfin, le total de Janvier 1941 se rapporte à un seul épisode dont la précipitation moyenne est égale à ce total.

- TABLEAU VI -

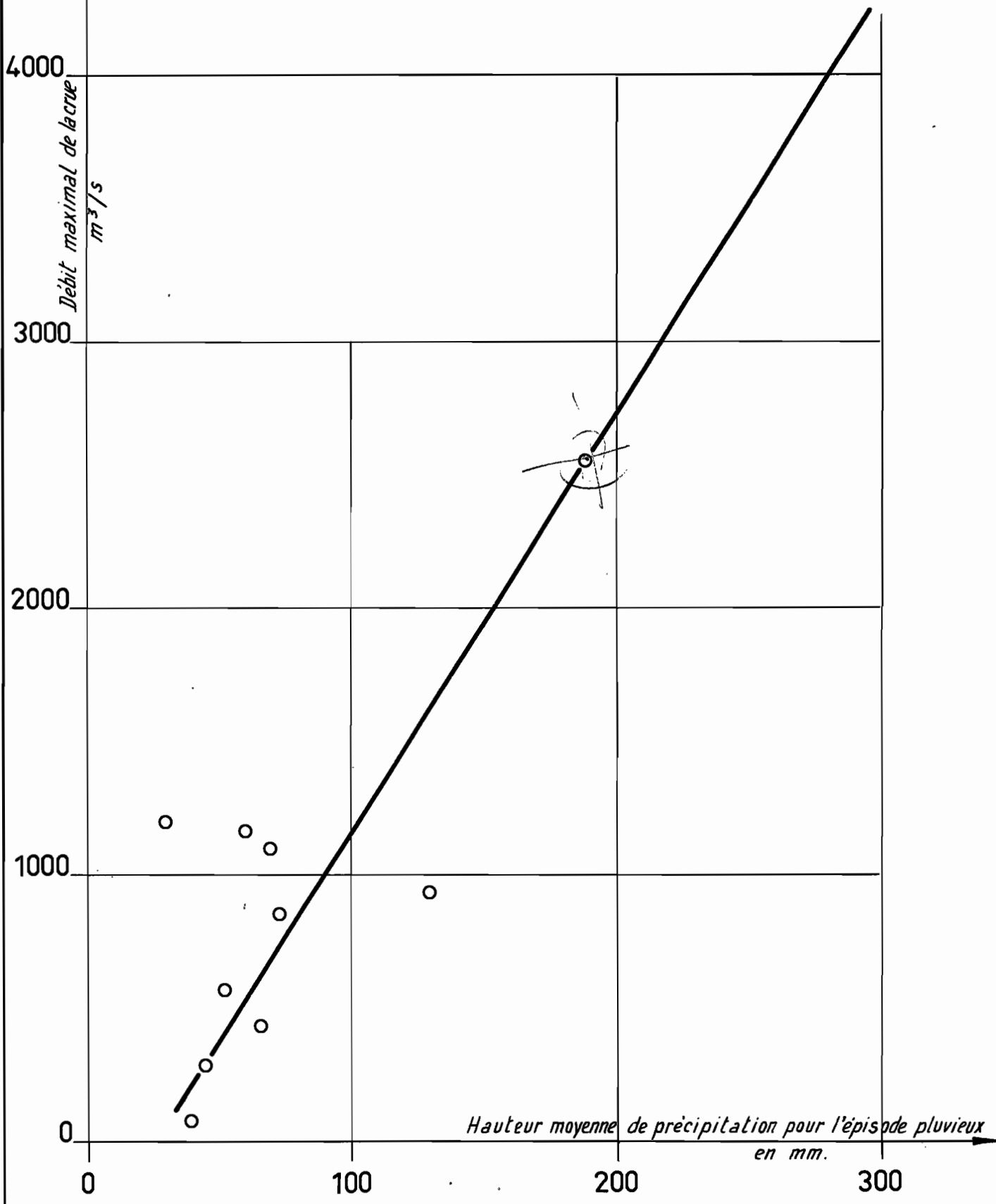
CRUES de l'Oued MASSA : Débits de pointe et volumes

Date	P _{mm}	Débit (m ³ /s)	Volume (M m ³)
15-12-57	189	2 550	175,088
20- 3-62		1 789	119,628
19-12-63		1 604	97,418
3- 2-65		1 256	55,096
24- 1-53	31,3	1 200	
7-11-62		1 174	52,237
4- 2-63		1 174	80,507
13- 2-56	59,8	1 160	71,786
11-11-51	70,7	1 100	62,640
24- 2-56	115,3	940	
2- 1-63		868	44,771
25- 3-54	72,9	855	73,134
3- 3-67		813	24,204
10- 1-60		772	54,434
1- 2-55	52,3	560	26,381
25-12-64		523	
27-11-61		523	30,423
11-12-54	66,4	414	
6-11-65		171	18,699
4- 3-51	39,9	83	17,021
12- 4-57	45,5	292	5,704

Relation entre le volume de la crue et Le débit de pointe



Corrélation entre le débit maximal de crue et la hauteur de précipitation de l'épisode pluvieux.



Il résulte de cette analyse sommaire que, durant la période 1937 à nos jours, l'épisode pluvieux bien groupé venant immédiatement après celui de 189 mm ayant provoqué la crue de Décembre 1957 lui est nettement inférieur avec une valeur de 159 mm. On peut donc penser que, durant cette même période il ne s'est pas produit de crues donnant une pointe supérieure à 2 550 m³/s ni un volume supérieur à 175 millions de m³.

Le résultat de l'analyse n'infirmé donc pas les chiffres prévus pour la crue de projet dans les rapports de MM. KABBAJ et LAZAREVIC et acceptés dans le rapport de l'expert.

- A N N E X E 1 -

Programme de simulation pour un aménagement hydraulique de simple fourniture, avec réserve interannuelle, et avec, comme seule consigne d'exploitation, d'arrêter la fourniture lorsque la hauteur de l'eau dans la retenue atteint, en descente, une valeur donnée.

I - CARACTERISTIQUES, VARIABLES et DONNEES

1 - Caractéristiques concernant l'aménagement

1.1. - Caractéristiques fixes

Le site étant donné, l'aménagement comporte trois caractéristiques fixes, dépendant des conditions topographiques et géologiques :

- la cote minimale absolue, pour laquelle le volume stocké est nul. On l'appellera :

HC

et le volume correspondant est nul.

- La courbe dite "de remplissage", ou courbe des valeurs des volumes stockés correspondant à des cotes données : courbe $V(H)$, ou son inverse $H(V)$.

Pour le calcul, la courbe $V(H)$ est divisée en $KMAX$ tronçons de paraboles, de coefficients C (matrice $3, KMAX$). Elle s'exprime sous forme d'un sous-programme `FUNCTION` :

$V (HP, C, XH, KMAX)$

H se déduit de V par résolution de l'équation du second degré pour le tronçon de parabole correspondant, le tri des racines étant effectué par des instructions de contrôle. Elle s'exprime par un sous-programme `FUNCTION` $H(VP, C, HP, XV, KMAX)$.

HP ou VP	:	cotes ou volumes aux points limitant les tronçons de paraboles (vecteurs de dimension $KMAX + 1$).
C	:	coefficients des tronçons de paraboles (matrice de dimensions $3, KMAX$).
XH ou XV	:	hauteur ou volume à transformer.
KMAX	:	nombre de tronçons de paraboles.

- La cote maximale possible de la réserve, compte tenu des possibilités géomorphologiques du site et de la cuvette, ainsi que des revanches de sécurité. Cette donnée constitue une limite extrême de la cote maximale effective ; elle n'intervient pas explicitement dans le programme.

1.2. - Caractéristiques variables

On appelle ainsi les caractéristiques qu'il est loisible de faire varier pour adapter l'aménagement aux besoins et en tirer le meilleur parti. Pour un aménagement de simple fourniture avec régularisation au moins saisonnière, ces caractéristiques sont les suivantes :

- Cote maximale effective de la retenue :

HMAX

avec le volume qui lui correspond d'après la courbe de remplissage :

VOLMAX

- Cote minimale effective acceptable pour la retenue :

HMIN

avec le volume qui lui correspond d'après la courbe de remplissage :

VOLMIN

D'autres caractéristiques peuvent intervenir, telles que le mode de fonctionnement de l'évacuateur et le niveau d'utilisation de l'eau. Dans le cas, qui nous concerne, d'un évacuateur à simple déversement sans vannes ni siphon partialisé, cet évacuateur n'intervient que par le calage du seuil dont la cote se confond avec la cote maximale effective. Le niveau d'utilisation peut intervenir soit dans le choix de HMIN, si l'alimentation est exclusivement gravitaire, soit dans un stade ultérieur de calcul économique si on admet des possibilités de pompage.

On ne doit pas confondre la cote maximale effective de la retenue, HMAX, avec la cote qui peut être accidentellement atteinte au cours de l'évacuation d'une crue. HMAX se réfère uniquement au volume de réserve utile ; la cote du couronnement du barrage comporte donc, en plus de KMAX, la charge statique nécessaire à l'évacuation de la crue de projet, ainsi que la revanche totale qui prend elle-même en compte la hauteur maximale des vagues et une revanche de sécurité.

2 - Données naturelles

Elles concernent les apports dont bénéficie la réserve et les pertes qu'elle subit, du fait du complexe physique du bassin versant et de l'ensemble climatique dans lequel ce bassin se trouve plongé. Ce sont essentiellement :

2.1. - Les débits

Etudiés d'après un échantillon d'observations directes, étendu éventuellement au moyen de régressions hydropluviométriques à l'échelle

du mois, les apports mensuels, suivant les procédés de l'hydrologie stochastique, se traduisent par une longue série (200 ou 300 ans) engendrée par une méthode de Monte Carlo.

2.2. - L'évaporation

Le phénomène est soumis à une variabilité interannuelle très faible comparativement à celle des débits. C'est pourquoi un seul schéma annuel peut être adopté ; son élaboration et la précision que l'on peut attendre dépendent des données d'observation disponibles (bac évaporatoire, formules, analogie géographique). L'information se traduit en pratique par un vecteur $EVAPC(M)$ de dimension 12.

3 - Données d'utilisation

C'est le programme de fourniture souhaité ou correspondant à tel projet d'aménagement et à telle envergure de ce projet. Il se présente sous forme d'un vecteur $VOPROG$ contenant les 12 volumes mensuels nécessités par le projet. En utilisation agricole, l'introduction d'un assolement peut conduire à une variation annuelle de la demande suivant une rotation de durée égale à la période d'assolement. Si on désigne cette durée par la variable $NASSOL$, le programme de fourniture d'eau prend alors la forme d'une matrice :

$VOPROG(IN, M)$

de dimension $(NASSOL, 12)$.

II - CONDITIONS d'EXPLOITATION

Les conditions d'exploitation introduites pour la simulation doivent correspondre aux consignes qui seraient appliquées dans le cas d'une exploitation réelle. La consigne la plus simple à appliquer est évidemment celle qui fait distribuer de l'eau tant qu'il y en a dans la réserve, ou tout au moins tant que le niveau de la réserve ne descend pas au-dessous d'une certaine cote appelée $HMIN$ (cote minimale effective). C'est ce dernier point de vue qui a été adopté pour la présente rédaction du programme de simulation.

Quel que soit le mode d'exploitation qui sera définitivement adopté, il est bon de commencer par un fonctionnement basé sur cette consigne simple. Les résultats obtenus permettent de se rendre compte des possibilités exactes de l'aménagement et en bien des cas, surtout si les données concernant la demande sont plutôt mal connues, il n'est guère utile d'aller plus loin.

La poursuite de l'étude, notamment si l'on veut aller jusqu'à une recherche de l'optimum économique, exige des renseignements complémentaires même dans le domaine physique : jusqu'où peut-on aller dans le rationnement sans détruire les plantations (plantes annuelles et plantes pérennes), influence du rationnement sur le rendement, etc... Les consignes d'exploitation peuvent alors varier à l'infini bien qu'elles soient toutes basées sur la considération de la réserve à un instant donné. En effet, la décision de fournir telle quantité d'eau ne dépend plus uniquement de VOPROG et du fait que la fourniture soit immédiatement possible ou pas. Le rationnement doit évidemment intervenir avant que la réserve disponible soit épuisée et se modeler sur l'état de cette réserve ; d'où l'adoption d'un système dynamique d'exploitation, ou d'une stratégie, dont les paramètres soient eux-mêmes choisis en fonction d'une optimisation.

III - FONCTIONNEMENT de l'AMENAGEMENT pendant un MOIS DONNE

Le pas de temps choisi pour le fonctionnement simulé est le mois. D'abord parce que cet intervalle est suffisant pour la précision demandée, ensuite parce que certains éléments, comme la demande, ne peuvent pas être estimés raisonnablement pour un intervalle de temps plus petit, enfin parce que l'établissement d'un échantillon fictif à l'échelle mensuelle est beaucoup moins onéreux à établir, et plus significatif, qu'un échantillon de débits journaliers par exemple. Par contre, le choix de ce pas de temps oblige parfois à adopter des hypothèses arbitraires de répartition des éléments à l'intérieur du mois. Parmi ces hypothèses indiquons dès maintenant les suivantes :

- Demande en eau uniformément répartie sur le mois.
- Evaporation journalière uniforme sur le mois.

Les autres hypothèses seront indiquées au fur et à mesure des besoins. Aucune des hypothèses de travail formulées n'ont d'incidence notable sur les résultats.

Au début du mois, l'état de la réserve est défini par la cote du plan d'eau derrière le barrage :

$$HAD = HD(M),$$

M désignant le mois sur lequel on travaille, à laquelle correspond, d'après la courbe de remplissage, un volume :

$$VORD = VORESD(M).$$

Les variables HD et VORESD sont indicées pour permettre le transfert de l'état de la réserve de la fin du mois M-1 au début du mois M. La figure 1 montre les limites dans lesquelles va s'inscrire le fonctionnement de la réserve au cours du mois ; lorsque la cote atteindra, à la montée, la limite supérieure définie par HMAX ou VOLMAX, il y aura déversement et les apports ne seront plus stockés ; lorsque la cote atteindra, à la descente, la limite inférieure définie par HMIN ou VOLMIN, la fourniture cessera et seule l'évaporation pourra continuer à faire baisser le plan d'eau. Il faudra prévoir également le cas où la retenue sera complètement asséchée par l'évaporation (cote HC atteinte).

On pourrait démarrer le fonctionnement de la retenue au mois M en considérant les conditions initiales existantes par rapport aux limites définies ci-dessus :

$$\begin{array}{lll} \text{HMIN} < \text{HAD} \leq \text{HMAX} & \text{ou} & \text{VOLMIN} < \text{VCRD} \leq \text{VOLMAX} \\ \text{HMIN} \geq \text{HAD} > \text{HO} & \text{ou} & \text{VOLMIN} \geq \text{VORD} > 0 \\ \text{HAD} = 0 & \text{ou} & \text{VCRD} = 0 \end{array}$$

Il est plus pratique de former dès le départ la quantité :

$$\text{VORF} = \text{VORD} - \text{VCPRO} - \text{VOLEV1}$$

où VORD : volume au début du mois M

$$\text{VOPRO} = \text{VOPROG(M)}$$

VOLEV 1 : volume évaporé entre la cote HAD et
 $\text{HADEV} = \text{HAD} - \text{EVAPO(M)}$, autrement dit
évaporation réelle si on avait $\text{VOPRO} = 0$.

VORF représente donc, à une erreur de second ordre près sur l'évaporation, le volume de la réserve à la fin du mois en l'absence d'apports.

Une comparaison de VORF avec VOLMIN permet de déterminer deux grandes classes de fonctionnement :

1. $\text{VORF} \geq \text{VOLMIN}$: le contrat est toujours réalisé, quels que soient les apports (déficit nul).
2. $\text{VORF} < \text{VOLMIN}$: la réalisation du contrat dépend des apports.

Réglons tout de suite le premier cas qui ne comporte que deux variantes suivant que la nouvelle estimation de VORF tenant compte des

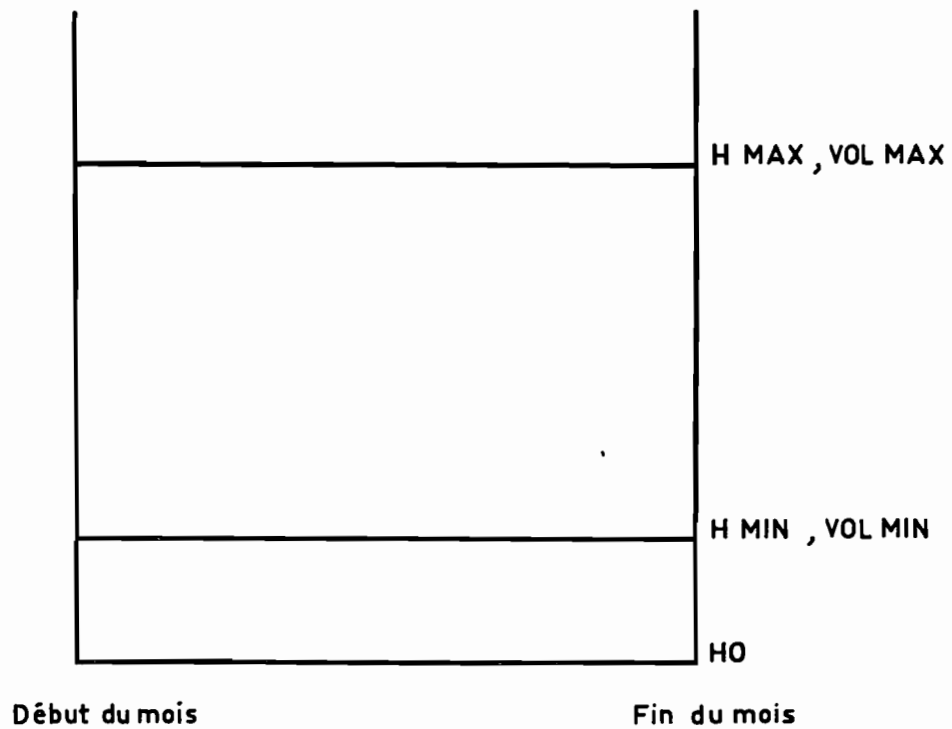


Fig : 1

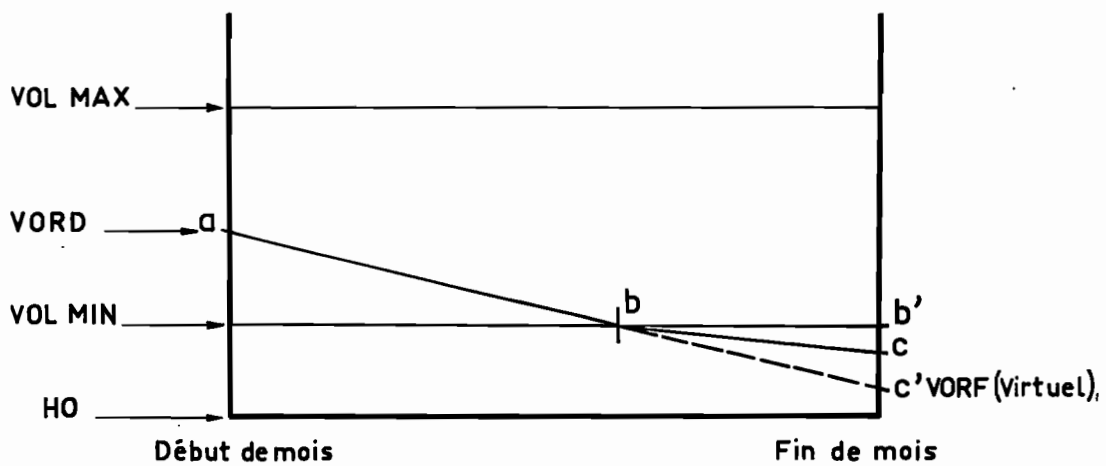


Fig : 2

apports est supérieure ou égale au volume maximal effectif :

- 1.1 VORF \leq VOLMAX pas de déversements.
- 1.2 VORF $>$ VOLMAX déversements.

Suit le calcul des différents éléments qui ne présente ici aucune difficulté. Signalons seulement une légère correction touchant l'évaporation, correction de second ordre qui peut aisément être négligée et l'a été en fait dans le programme réellement utilisé.

Pour 2, on vérifiera d'abord s'il y a ou non des apports (comparaison de VOLAPP à zéro) :

- 2.1 VOLAPP = 0
- 2.2. VOLAPP \neq 0

Le cas 2.1 est évidemment le plus simple. Il se subdivise en 2 :

2.1.1 VORD \leq VOLMIN. Il n'y a donc aucune fourniture durant tout le mois, et le déficit est égal à la demande (DEF = VOPRO). On recalcule VORF ; s'il se trouve être négatif ou nul, c'est que la retenue se trouve asséchée par l'évaporation. On a donc en réalité VORF = 0 et HAF = HO.

2.1.2 VORD $>$ VOLMIN. Il y a fourniture pendant une partie du mois, puis la fourniture cesse et seule l'évaporation fait baisser la retenue. La figure 2 donne le schéma du fonctionnement. On suppose que les déplacements sur le diagramme de fonctionnement sont linéaires, ce qui n'introduit aucune erreur appréciable par rapport aux données réelles.

c' représente une fin de mois virtuelle : état qui serait atteint si on pouvait continuer à fournir après avoir atteint HMIN (ou VOLMIN). D'après l'hypothèse de proportionnalité admise, le déficit est proportionnel à bb', soit :

$$DEF = VOPRO * (VOLMIN - VORF) / (VORD - VORF)$$

En fait, à partir de b, le point de fonctionnement ne suit pas la ligne pointillée bc', puisqu'il n'y a plus fourniture, mais une ligne en trait plein bc qui passe au-dessus. Toujours en admettant la proportionnalité, on a :

$$HAF = HMIN - EVAPO(M) * (VOLMIN - VORF) / (VORD - VORF)$$

HAF peut également être égal à HO.

Le cas 2.2 se prête à un assez grand nombre de combinaisons réparties également en deux classes :

- 2.2.1 VORD \leq VOLMIN
- 2.2.2 VORD $>$ VOLMIN

Il convient de faire une nouvelle hypothèse concernant les apports. Durant le mois, ces apports peuvent être considérés comme répartis uniformément ou non, ou comme arrivant de manière discontinue à des intervalles et avec des valeurs relatives données. Le schéma adopté a, sur les résultats, une influence variable suivant les cas. En fait, l'influence "moyenne" n'est pas considérable et on peut se contenter de ramener tous les cas possibles à deux cas schématiques suivant le régime du cours d'eau.

- Répartition uniforme.
- Apports instantanés concentrés au milieu du mois.

Même pour ces deux cas, que l'on peut considérer comme extrêmes, la différence entre les résultats n'est pas très importante. Au Maroc, pour lequel ce programme est spécialement étudié, on adoptera le second schéma. Le déroulement des opérations exigera la prise en compte d'un point médian, au milieu du mois, que l'on caractérisera par VORM (volume) ou HAM (hauteur).

L'hypothèse de travail qu'aucun apport ne se manifeste avant le milieu du mois permet de calculer aisément HAM, ou VORM. VORM est alors recalculé avec l'adjonction de VOLAPP, ce qui permet de traiter la seconde partie du mois. On admet ici, également, l'hypothèse de linéarité dans chacun des deux tronçons. Les calculs sont du même type que précédemment et nous donnons seulement ci-dessous les contrôles à effectuer :

- Pour le groupe 2.2.1 :
 - 2.2.1.1 : VORM \leq VOLMIN
 - 2.2.1.2 : VORM $>$ VOLMIN
 - lui-même subdivisé en :
 - 2.2.1.2.1 VCRF \geq VOLMIN
 - 2.2.1.2.2 VCRF $<$ VOLMIN
- Pour le groupe 2.2.2 :
 - 2.2.2.1. : VORM \geq VOLMIN
 - subdivisé en :
 - 2.2.2.1.1 VCRF \geq VOLMIN
 - 2.2.2.1.2 VCRF $<$ VOLMIN

```
2.2.2.2      :  VORM < VOLMIN
                subdivisé en (VORM recalculé)
2.2.2.2.1    :  VORM < VOLMIN
2.2.2.2.2    :  VORM > VOLMIN

                subdivisé en :
2.2.2.2.2.1  :  VORF < VOLMIN
2.2.2.2.2.2  :  VORF > VOLMIN
```

La figure 3 montre les différentes combinaisons du groupe 2.2 . L'ensemble des contrôles triant les différents cas posés par le fonctionnement de la réserve, pour un mois donné, suivant le mode d'exploitation admis, est schématisé par la figure 4.

IV - ENCHAINEMENT du PROGRAMME ou LOGIQUE EXTERNE

Le calcul du fonctionnement de l'ouvrage pour un mois M donné constitue le noyau du programme de simulation. La figure 5 montre comment s'articulent, autour de ce noyau, l'introduction des informations, le choix des différentes combinaisons des valeurs des paramètres variables, l'intervention de l'assolement et l'extension à l'année du calcul mensuel.

L'introduction des données ne présente rien de particulier. Elles ont été définies en I. Disons seulement que les caractéristiques variables de l'aménagement sont introduites sous forme de vecteurs de manière à pouvoir traiter toutes les combinaisons possibles en un seul passage d'ordinateur. HMAX et VOLMAX sont représentés par des vecteurs HMA(I) et VOLMA(I), où I peut varier de 1 à N1, N1 étant le nombre de solutions à essayer pour ce paramètre. De même HMIN et VOLMIN sont introduits sous la forme HMI(I) et VOLMI(I), I variant de 1 à N2, nombre de solutions à essayer pour le paramètre. On pourrait aussi n'introduire que HMAX et HMIN puisque les hauteurs et les volumes sont liés par une relation biunivoque ; les avantages et les inconvénients des deux procédés sont à peu près équivalents : d'un côté, on encombre un peu plus la mémoire centrale, d'un autre côté, on introduit un petit calcul supplémentaire.

Les couples possibles de valeurs de HMAX et HMIN (ou VOLMAX et VOLMIN), sont formés par une double boucle fermant sur une instruction 1000 CONTINUE, comme le montre la figure.

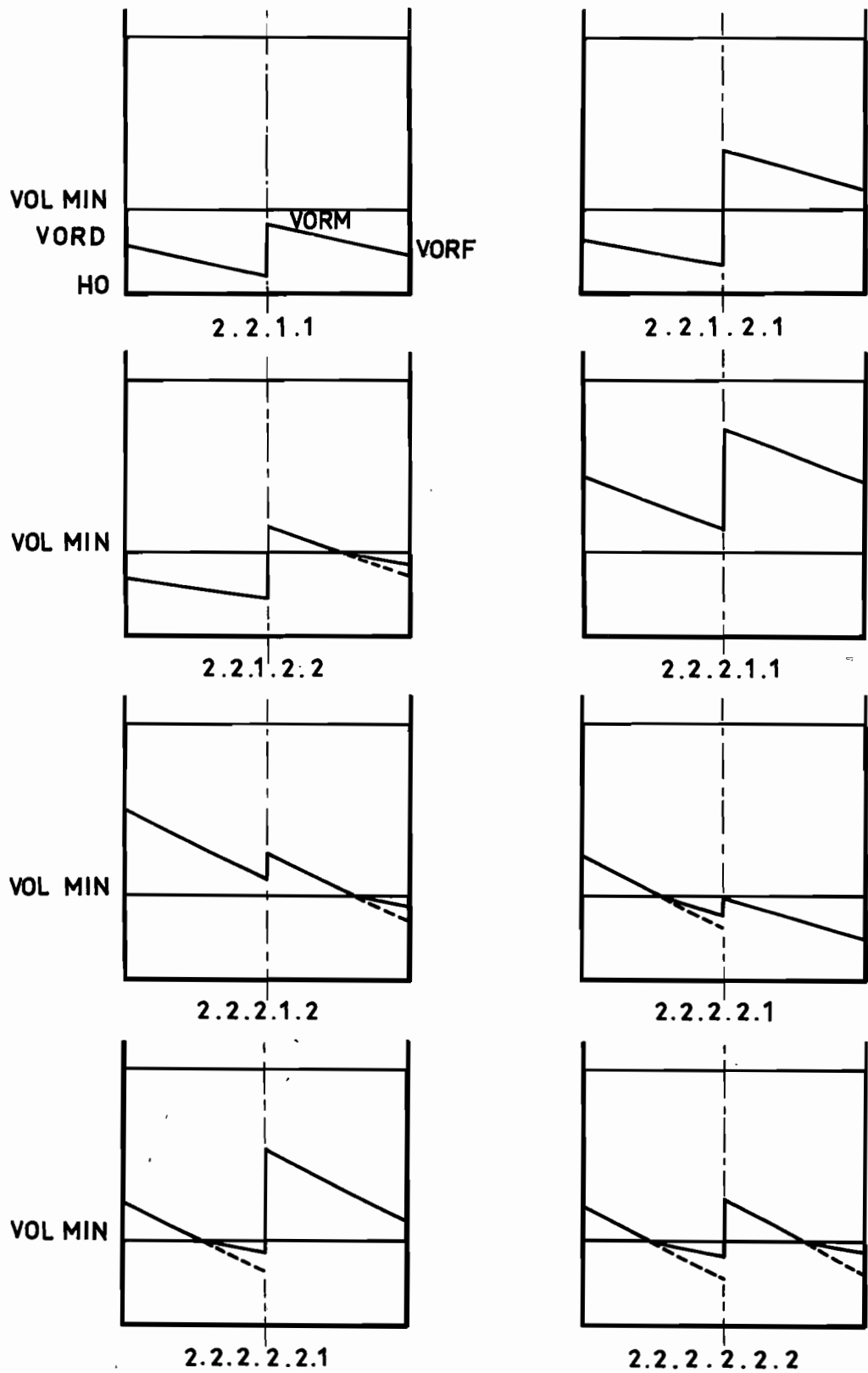


Fig : 3

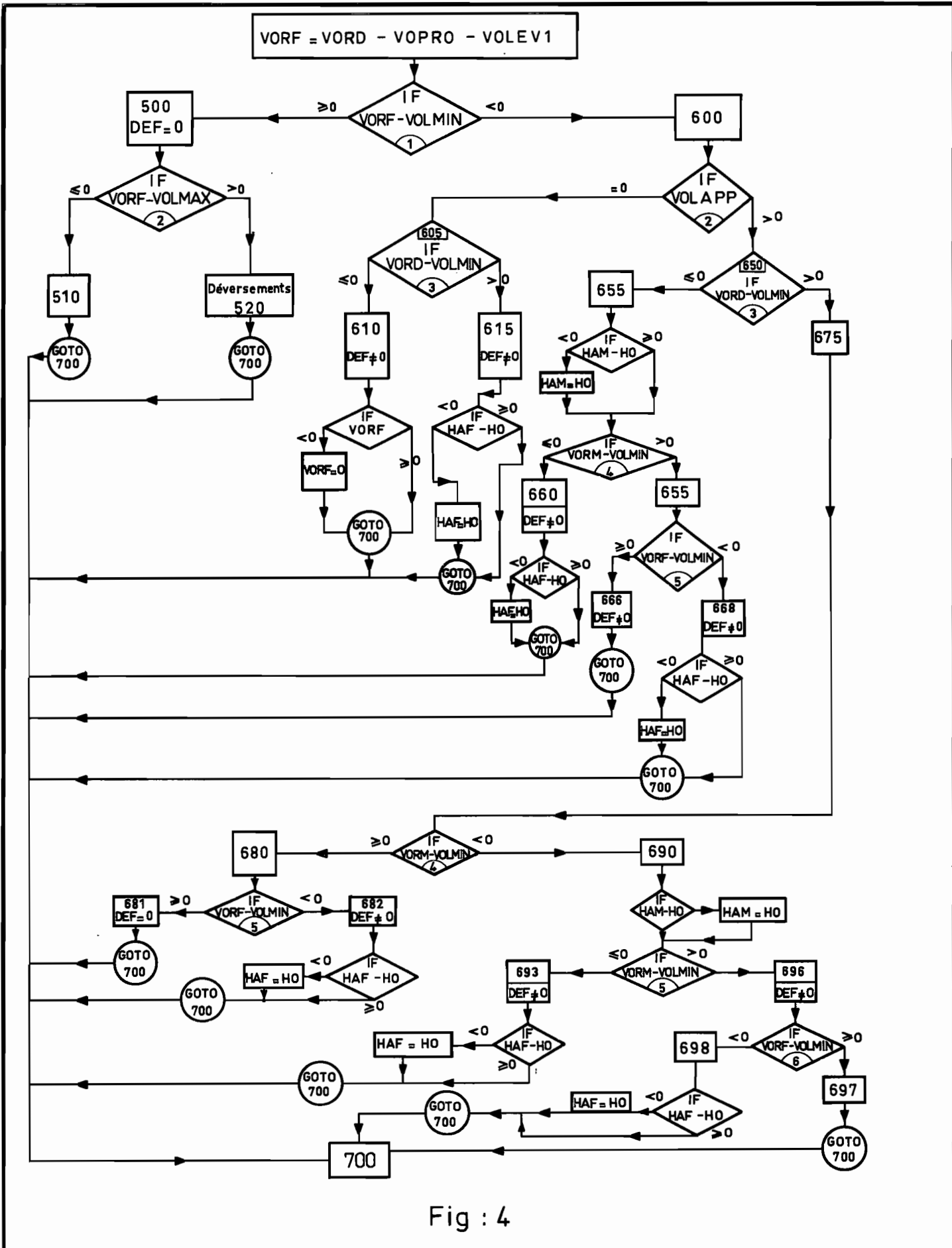


Fig : 4

Un couple ayant été sélectionné, il convient de faire fonctionner l'aménagement avec la totalité de l'échantillon de débits engendré par une méthode de Monte Carlo. Si l'on veut se réserver la possibilité de pratiquer un assolement, il faut opérer par tranches de NASSOL années, NASSOL étant la longueur, en années, de la période d'assolement. Le procédé adopté consiste à parcourir une boucle de 1 à NASSOL. Tant que le nombre d'années traitées n'est pas égal au nombre total d'années de la période fictive utilisée, les calculs continuent ; ils sont arrêtés dès que tout l'échantillon a défilé, au moyen d'un contrôle qui ordonne alors la sortie de la boucle et envoie à l'impression et à la perforation des déficits recueillis durant l'essai de simulation. On sélectionne alors un nouveau couple de caractéristiques et on continue jusqu'à ce que l'ensemble des valeurs retenues pour VOLMAX et VOLMIN soit épuisé.

Le programme qui vient d'être décrit correspond à une exploitation par un seul programme de fourniture avec assolement. Le programme dont la liste FORTRAN est donnée dans l'annexe 2 est plus général et permet l'exploitation fictive avec plusieurs programmes de fourniture de forme quelconque. Du point de vue programmation, les différences sont minimes.

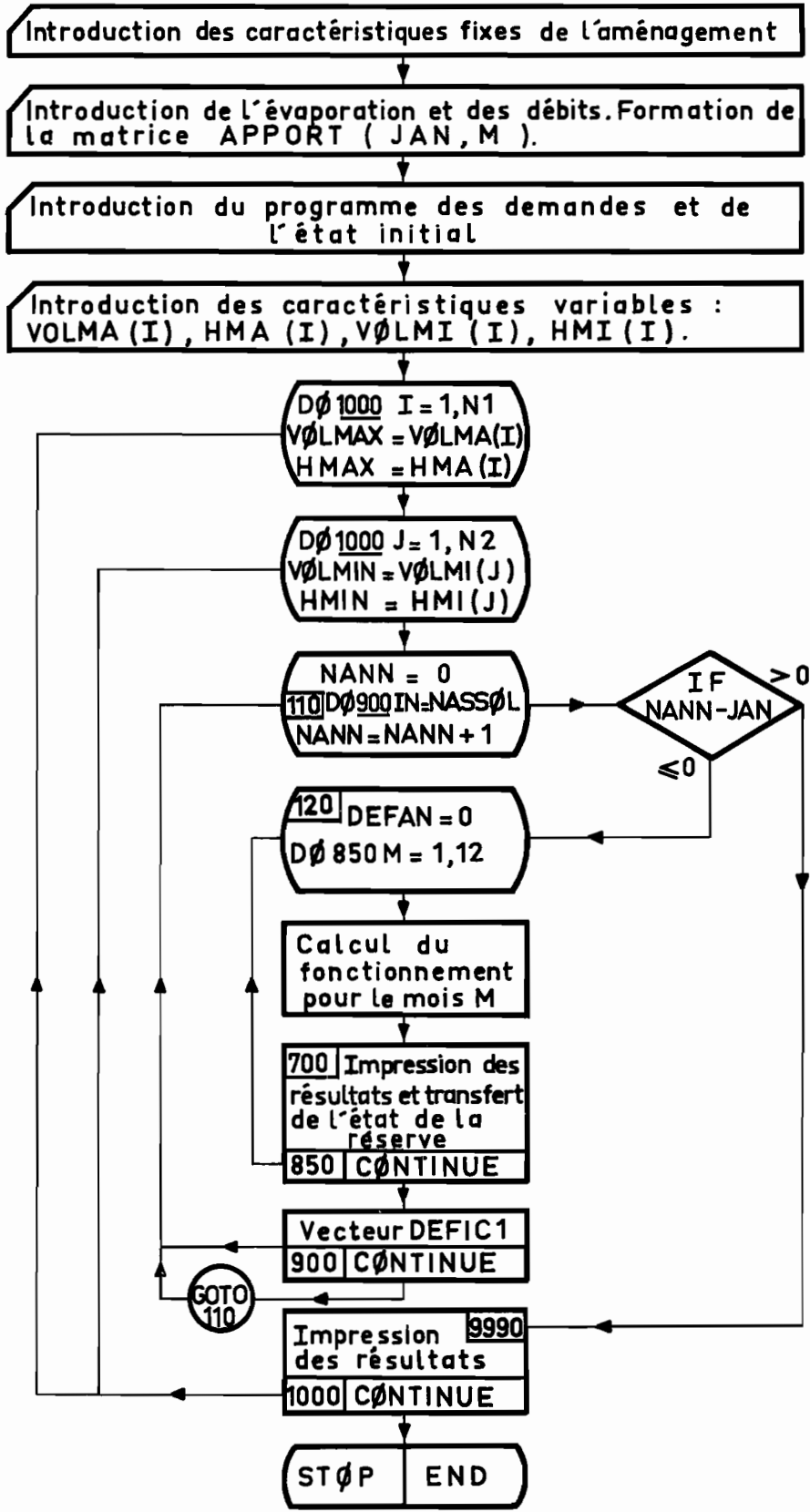


Fig:5

- A N N E X E 2 -

LISTE FORTRAN
DU PROGRAMME DE SIMULATION

```

C      POH 601 A
C      FONCTIONNEMENT SIMULE D UN RESERVOIR POUR SIMPLE FOURNITURE
C      AVEC PROGRAMME FIXE
      DOUBLE PRECISION C
      DIMENSION MANT(12),ICAR(12)
      DIMENSION HP(16),C(3,16),VP(16),EVAPO(12),VOPROG(10,12)
      DIMENSION VORESD(12),HD(12)
      DIMENSION JANAS(500),DEFICI(500),DEFAIL(500)
      DIMENSION VOLMA(20),HMA(20),VOLMI(20),HMI(20),APPORT(500,12)
      READ(5,9005)LMAX,(HP(L),L=1,LMAX)
9005  FORMAT(12,15F5.2)
      KMAX=LMAX-1
      DO 6 J=1,3
        6 READ(5,9010)I,(C(I,L),L=1,KMAX)
9010  FORMAT(11,4D17.10/(4D17.10))
      READ(5,9005)LMAX,(VP(L),L=1,LMAX)
      READ(5,9015)HO
9015  FORMAT(F5.2)
      READ(5,9030)(EVAPO(M),M=1,12)
9030  FURMAT(12F5.3)
      JAN=0
      55 JAN=JAN+1
9100  FURMAT(18,3X,12(I3,I1))
      READ(5,9100)ISTAT,(MANT(M),ICAR(M),M=1,12)
      IF(ISTAT)60,100,60
      60 DO 70 M= 1,12
          GOTO(61,62,61,63,61,63,61,61,63,61,63,61),M
      61 NOJOUR=31
          GOTO 70
      62 NOJOUR=28
          GOTO 70
      63 NOJOUR= 30
      70 APPORT(JAN,M) = 86400. *NOJOUR * MANT(M)*10.**(ICAR(M)-3)
          GOTO 55
      100 JAN=JAN-1
          WRITE(6,9032)
9032  FORMAT('1')
          WRITE(6,9031)((APPORT(I,J),J=1,12),I=1,JAN)
9031  FORMAT(1X,12F10.0)
          NOPRO=0
          8 READ(5,9035)NASSOL
9035  FORMAT(12)
          IF(NASSOL)9,9999,9
          9 DO10 J=1,NASSOL
          10 READ(5,9040)(VOPROG(J,M),M=1,12)
9040  FORMAT(12F5.3)
          NOPRO=NOPRO+1
          WRITE(6,9041)NOPRO
9041  FORMAT('1'////////////////////////////////////T25,'RESULTATS POUR LE PROGRAMME
      IDE CONSOMMATION NUMERO',I4)
      READ(5,9050)VORINI,HINI
9050  FORMAT(2F10.0)
      READ(5,9060) N1,N2
9060  FORMAT(2I3)
9061  FORMAT(8F10.0)
      READ(5,9061)(HMA(I),I=1,N1)
      READ(5,9061)(HMI(I),I=1,N2)
      DO1000 I= 1,N1

```

```

HMAX=HMA(I)
VOLMAX =V(HP,C,HMAX,KMAX)*1000000.
DO1000 J= 1,N2
VORESD(1)=VORINI
HC(1)=HINI
HMIN=HMI(J)
VOLMIN =V(HP,C,HMIN,KMAX)*1000000.
WRITE(6,9070)HMIN,HMAX
9070 FORMAT('1',T10,'RESULTATS POUR: '/T20,'HMIN=',F10.2,T40,'HMAX=',
IF10.2)
NANN=0
110 DO900 IN=1,NASSOL
NANN=NANN+1
IF(NANN-JAN)120,120,9990
120 DEFAN=0
DUDEFA=0
DO850 M=1,12
VORD= VORESD(M)
HAD = HD(M)
VOLAPP= APPURT(NANN,M)
EVAP=EVAPD(M)
VOPRO=VOPROG(IN,M)*1000000.+0.1
HADEV=HAD-EVAP
IF(HADEV-HU)150,160,160
150 HADEV=HU
160 VORF=V(HP,C,HADEV,KMAX)*1000000-VOPRO
IF(VORF-VOLMIN) 600,500,500
500 VORF=VORF + VOLAPP
IF(VORF-VOLMAX)510,510,520
510 XV= VORF/1000000
HAF=H(VP,C,HP,XV,KMAX)
DEF=0
DUDEF=0
GOTO 700
520 HADEV =HMAX-EVAP*0.5
VORF=V(HP,C,HADEV,KMAX)*1000000-VOPRO/2
XV=VORF/1000000
HAF=H(VP,C,HP,XV,KMAX)
GOTO 700
600 IF(VOLAPP) 605,605,650
605 IF(VORD-VOLMIN)610,610,615
610 DEF=VOPRO
DUDEF=NOJOUR
IF(VORF)611,612,612
611 VORF= 0
HAF=HO
GOTO700
612 XV=VORF/1000000
HAF=H(VP,C,HP,XV,KMAX)
GOTO 700
615 COEF=(VOLMIN-VORF)/(VORD-VORF)
DEF= -COEF* VOPRO
DUDEF=NOJOUR*COEF
HAF= HMIN -COEF* EVAP
IF(HAF-HO) 620,630,630
620 HAF=HO
VORF=0
GOTO700

```

```

630 VORF= V(HP,C,HAF,KMAX)*1000000
    GOTU 700
650 IF(VORD-VOLMIN) 655,655,675
655 HAM= HAD-EVAP*0.5
    IF(HAM-HO)656,657,657
656 HAM=HO
    VORM=VOLAPP
    GOTU658
657 VORM=V(HP,C,HAM,KMAX)*1000000 +VOLAPP
658 IF(VORM-VOLMIN)660,660,665
660 DEF=VOPRO
    DUDEF=NOJOUR
    XV=VORM/1000000
    HAF=H(VP,C,HP,XV,KMAX)-EVAP*0.5
    IF(HAF-HO)661,662,662
661 HAF=HU
    VORF=0
    GOTU700
662 VORF=V(HP,C,HAF,KMAX)*1000000
    GOTU 700
665 XV=VORM/1000000
    HAM=H(VP,C,HP,XV,KMAX)
    HAFEV=HAM-EVAP*0.5
    VORF=V(HP,C,HAFEV,KMAX)*1000000-VOPRO*0.5
    IF(VORF-VOLMIN)668,666,666
666 XV=VORF/1000000
    HAF=H(VP,C,HP,XV,KMAX)
    DEF=VOPRO/2
    DUDEF=NOJOUR/2.
    GOTU 700
668 COEF=.5*(VORM-2*VORF+VOLMIN)/(VORM-VORF)
    DEF=COEF*VOPRO
    DUDEF=NOJOUR*COEF
    HAF= HMIN - 0.5*EVAP      *(VOLMIN-VORF)/(VORM-VORF)
    IF(HAF-HO)669,670,670
669 HAF=HO
    VORF=0
    GOTU700
670 VORF= V(HP,C,HAF,KMAX)*1000000
    GOTU 700
675 HADEV= HAD-EVAP*0.5
    VORM=V(HP,C,HADEV,KMAX)*1000000-VOPRO*0.5
    IF(VORM-VOLMIN)690,680,680
680 VORM=VORM+VOLAPP
    XV=VORM/1000000
    HAM=H(VP,C,HP,XV,KMAX)
    HAFEV=HAM-EVAP*0.5
    VORF=V(HP,C,HAFEV,KMAX)*1000000-VOPRO*0.5
    IF(VORF-VOLMIN)682,681,681
681 DEF=0
    DUDEF=0
    XV=VORF/1000000
    HAF=H(VP,C,HP,XV,KMAX)
    GOTU 700
682 COEF=0.5*(VOLMIN-VORF)/(VORM-VORF)
    DEF=VOPRO*COEF
    DUDEF=NOJOUR*COEF
    HAF = HMIN-EVAP*COEF

```

```

IF (HAF-HO) 684,685,685
684 HAF=HO
VORF=0
GOTO 700
685 VORF=V(HP,C,HAF,KMAX)*1000000
GOTO 700
690 COEF=0.5*(VOLMIN-VORM)/(VORD-VORM)
DEF1=VOPRO*COEF
DUDEF1=COEF*NOJOUR
HAM=HMIN-EVAP*COEF
IF (HAM-HO) 691,692,692
691 HAM=HO
VORM=0
GOTO 686
692 VORM= V(HP,C,HAM,KMAX)*1000000 +VOLAPP
686 IF (VORM-VOLMIN) 693,693,696
693 DEF =DEF1+VOPRO/2
DUDEF=NOJOUR/2. +DUDEF1
HAF =HAM-EVAP*0.5
IF (HAF-HO) 694,695,695
694 HAF=HO
VORF=0
GOTO 700
695 VORF =V(HP,C,HAF,KMAX)*1000000
GOTO 700
696 HAMEV= HAM-EVAP*0.5
VORF=V(HP,C,HAMEV,KMAX)*1000000-VOPRO*0.5
IF (VORF-VOLMIN) 698,697,697
697 DEF=DEF1
DUDEF=DUDEF1
XV=VORF/1000000
HAF=H(VP,C,HP,XV,KMAX)
GOTO 700
698 COEF=0.5*(VOLMIN-VORF)/(VORM-VORF)
DEF=DEF1+VOPRO*COEF
DUDEF=NOJOUR*COEF +DUDEF1
HAF= HMIN - COEF*EVAP
IF (HAF-HO) 699,399,399
699 HAF=HO
VORF=0
GOTO 700
399 VORF=V(HP,C,HAF,KMAX)*1000000
GOTO 700
700 DEFAN=DEFAN+DEF
DUDEFA=DUDEFA+DUDEF
IF (M-12) 701,702,702
701 HD(M+1)=HAF
VORES(M+1)=VORF
GOTO 850
702 HD(1)=HAF
VORES(1)=VORF
850 CONTINUE
JANAS(NANN)=IN
DEFICI(NANN)=DEFAN
DEFAIL(NANN)=DUDEFA
900 CONTINUE
GO TO 110
9990 WRITE(6,9991)HMIN,HMAX

```

```

9991 FORMAT('1',10X,'HMIN =',F8.2,6X,'HMAX =',F8.2)
      DO 9992JA=1,JAN
9992 WRITE(6,9800) JA,JANAS(JA),DEFICI(JA),DEFAIL(JA)
9800 FORMAT(3X,'ANNEE:',I5,4X,'NUMERO D ASSOLEMENT:',I4,6X,'DEFICIT :
1,F15.0,2X,'M3',6X,'DEFAILLANCE:',F7.1,'JOURS')
1000 CONTINUE
      GOTO8
9999 STOP
      END

```

```

FUNCTION H(VP,C,HP,XV,KMAX)
DOUBLE PRECISION C,X,C1,C2,C3,DISCR
DIMENSION VP(16), C(3,16),HP(16)
IF(XV-VP(KMAX))100,105,105

```

```

105 L=KMAX
      GOTO 120
100 DO 115 L=2,KMAX
      IF(XV-VP(L))110,110,115
110 L=L-1
      GOTO 120
115 CONTINUE
120 X=XV
      C1=C(1,L)
      C2=C(2,L)
      C3=C(3,L)
      IF(DABS(C1)-1.D-30)130,135,135
130 H=HP(L)+(X-C3)/C2
      GOTO300
135 DISCR=(X+C2*C2/(4.D0*C1)-C3)/C1
      IF(DISCR)140,150,150
140 DISCR=0
150 IF(C1)160,170,170
160 H=HP(L)-C2/(2.D0*C1)-DSQRT(DISCR)
      GOTO 300
170 H=HP(L)-C2/(2.D0*C1)+DSQRT(DISCR)
300 RETURN
      END

```

```

FUNCTION V(HP,C,XH,KMAX)
DCUBLE PRECISION C,X
DIMENSION HP(16), C(3,16)
IF(XH-HP(KMAX)) 100,105,105

```

```

105 L=KMAX
      GOTO 120
100 DO 115 L=2,KMAX
      IF(XH-HP(L))110,110,115
110 L=L-1
      GOTO 120
115 CONTINUE
120 X=XH-HP(L)
      V= X*(C(1,L)*X +C(2,L)) +C(3,L)
      RETURN
      END

```