

Centre Technique Forestier Tropical
Institut de Recherches Agronomiques de Madagascar
Institut d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux

Étude subventionnée
par la Direction Générale
à la Recherche Scientifique

**Bilan hydrique sous prairies
naturelles et artificielles**

**BASSINS VERSANTS
EXPÉRIMENTAUX
D'AMBATOMAINTY**

Campagne 1973-1974

Action de l'Homme

D. IBIZA

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE - MER

MISSION DE TANANARIVE - HYDROLOGIE



1975

BILAN HYDRIQUE SOUS PRAIRIES NATURELLES ET ARTIFICIELLES

BASSINS VERSANTS EXPERIMENTAUX D'AMBATOMAINTY

Campagne 1973 - 1974 : Action de l'Homme

D. IBIZA

1975

S O M M A I R E

	<u>Pages</u>
NOTICE DE PRESENTATION	1
<u>CHAPITRE I</u> - ACTION DE L'HOMME	3
1.1. - Mise en culture	3
1.2. - Action du feu	5
<u>CHAPITRE II</u> - LA PLUVIOMETRIE	6
2.1. - Aspect général des précipitations	6
2.2. - Hétérogénéité selon les versants - Moyenne spatiale	7
2.3. - Analyse des pluviogrammes	11
<u>CHAPITRE III</u> - LES ECOULEMENTS	15
3.1. - Aspect des écoulements, coefficient d'écoulement	15
3.2. - Bilan hydrique annuel	21
3.3. - Analyse des crues	21
3.3.1. - Détermination des caractéristiques pluviométriques moyennes par bassin	21
3.3.2. - Comparaison des lames ruisselées ...	25
3.3.3. - Comparaison des temps de montée	28
3.3.4. - Temps de descente	29
3.3.5. - Evolution de la forme de la crue ...	29
3.3.6. - Etude de l'infiltration sous des précipitations d'intensité saturante	30
3.3.7. - Mesures sur parcelle de ruisselle- ment (200 m ²)	36

<u>CHAPITRE IV</u> - TRANSPORTS SOLIDES ET QUALITE DES EAUX	39
4.1. - Transports solides en suspension	39
4.1.1. - Evolution des transports solides sur le bassin SUD	39
4.1.2. - Evolution des transports solides en suspension sur le bassin NORD	41
4.2. - Transports par charriage de fond	41
 <u>CHAPITRE V</u> - MESURES D'HUMIDITE AU MOYEN D'UNE SONDE A NEUTRONS - Résultats de l'année 1972 - 1973	48
5.1. - INTRODUCTION - Critique des mesures	48
5.1.1. - Hétérogénéité des terrains	48
5.1.2. - Composante aléatoire liée au processus technologique de la mesure	49
5.2. - Etalonnage	52
5.3. - Mesures effectuées en 1972 - 1973	53
5.4. - Traitement de mesures et Exploitation	54
5.4.1. - Variation de l'humidité du sol dans la tranche de surface 0 - 55 cm (Tableau 15)	54
5.4.2. - Variation d'humidité des tranches profondes des sols	58
5.4.2.1 - Variations annuelles	58
5.4.2.2. - Amplitude des variations annuelles d'humidité et nature du sol	60
5.5. - Conclusion - Perspective de bilan hydrique	63
 <u>CHAPITRE VI</u> - LES RESERVES EN EAUX SOUTERRAINES	64

NOTICE DE PRESENTATION

1 - Thème de recherche

Bilan de l'eau sous prairies naturelles et artificielles à MADAGASCAR.
Etude des modifications du cycle naturel de l'eau dans les prairies des Hauts-Plateaux Malgaches, par la mise en valeur agricole rationnelle.
L'étude est faite à l'échelle d'une petite vallée d'environ 30 ha.

2 - Motivation technique

Donner aux promoteurs agricoles des outils leur permettant d'estimer l'influence sur l'équilibre bio-écologique des modifications apportées au milieu naturel par les aménagements agricoles.

3 - Objectifs scientifiques

Contrôle des différents termes du bilan hydrique de deux petits bassins versants d'environ 30 ha : ruissellement, évapotranspiration réelle, apports à la nappe phréatique et restitution de celle-ci à la rivière, transports solides.

Les deux bassins versants seront étudiés dans leur état de couvert végétal naturel pendant une année d'étalonnage. Au cours de la phase expérimentale qui doit se prolonger plusieurs années, un des deux bassins sera aménagé suivant les principes de mise en valeur agricole rationnelle et de conservation des sols, l'autre bassin restant pareil à lui-même comme témoin.

4 - Conditions d'exécution

Directeur de recherche : P. DUBREUIL

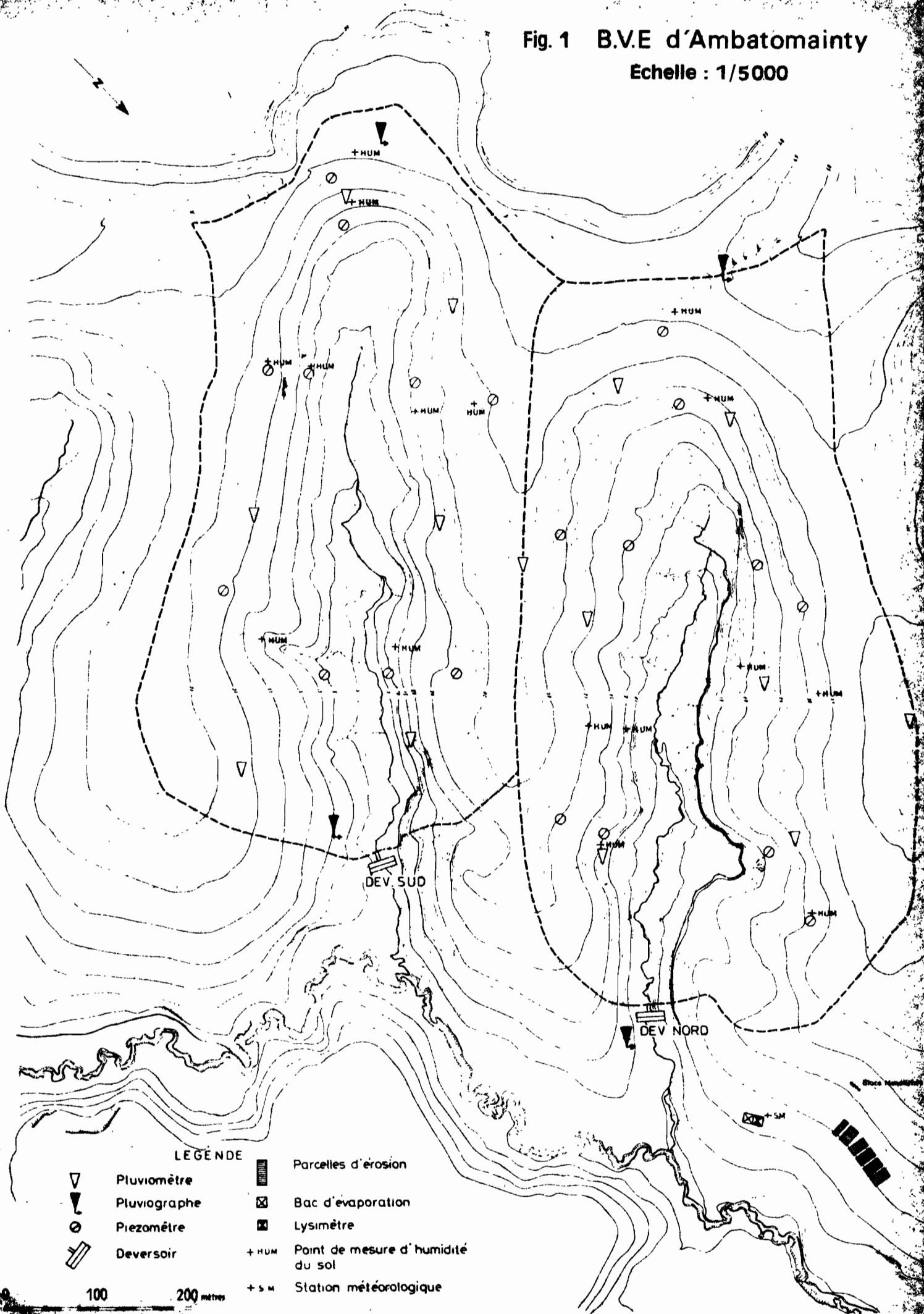
Chercheur : D. IBIZA

Technicien : G. ANDRIAMAMPIANINA

Source de financement : Subvention D.G.R.S.T. pour l'équipement et le fonctionnement des études sur bassins versants.
O.R.S.T.O.M. (personnel expatrié)

Fig. 1 B.V.E d'Ambatomainty

Echelle : 1/5000



LEGENDE

- | | | | |
|---|--------------|-------|-----------------------------------|
| ▽ | Pluviomètre | ▨ | Parcelles d'érosion |
| ▼ | Pluviographe | ⊠ | Bac d'évaporation |
| ⊙ | Piezomètre | ⊠ | Lysimètre |
| ▤ | Deversoir | + HUM | Point de mesure d'humidité du sol |
| | | + S M | Station météorologique |

100 200 mètres

5 - Etat d'avancement

La première campagne 1972 - 1973 ou année d'étalonnage a été réalisée et a fait l'objet d'un rapport intérimaire. La phase de test a, jusqu'à présent, fait l'objet de deux campagnes de mesures successives en 1973 - 1974 et 1974 - 1975. Les aménagements ruraux exécutés sur le bassin NORD sont achevés depuis Novembre 1973. Certains effets, tels que la reforestation, ne pourront être appréciés qu'après quelques années lorsque les arbres auront atteints un niveau de croissance suffisant.

6 - Coordination

Action concertée : équilibre et lutte biologique

"PRAIRIES" - Contrat D.G.R.S.T. n° 72.7.0366

Organismes contractants : Centre Technique Forestier Tropical
(C.T.F.T.)

Laboratoires contractants : Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire (I.E.M.V.T.) des Pays Tropicaux
Institut de Recherche Agronomique de
MADAGASCAR (I.R.A.M.)
Office de la Recherche Scientifique et
Technique Outre-Mer (O.R.S.T.O.M.).

7 - Résultats scientifiques acquis

La campagne 1973 - 1974 a surtout permis de tester l'effet d'un brulis tardif sur une savane non arborée.

8 - Evaluation des moyens en 1972 - 1973 (personnel expatrié)

1 chercheur : 5 mois

9 - Documentation et références

C.T.F.T. : Rapports annuels

I.R.A.T. : Etude pédoagronomique de la station d'AMBATOMAINTY

I.E.M.V.T. : Projet bassins versants de MADAGASCAR

O.R.S.T.O.M. : B.V.E. d'AMBATOMAINTY

Campagne 1972 - 1973 : Comparaison des deux bassins.

ACTION DE L'HOMME1/ - MISE EN CULTURE

Les travaux d'aménagement agricole sont décrits dans le détail, dans les rapports du C.T.F.T., et nous nous contenterons ici de rappeler rapidement les principales caractéristiques du schéma de mise en valeur du B.V. NORD sous l'angle de vue de l'Hydrologue.

Les travaux entrepris au cours de la saison sèche 1973 sont assez modestes, et l'on peut s'attendre à ce que l'effet produit sur le comportement hydrique du bassin NORD au cours de la campagne 1973 - 1974 soit faible.

L'aménagement retenu, dont le schéma a été conçu par le C.F.D.T. conformément aux normes, de mise en valeur rationnelle et de conservation des sols, préconisées par les Services Administratifs responsables, prévoit cinq types différents d'utilisation des sols.

a) - Cultures de versants intensives

Il s'agit de cultures vivrières à récolte annuelle qui suivent un schéma de rotation comprenant des jachères artificielles et , en fin de cycle, naturelles.

Ces cultures sont faites le long de courbes de niveau, sur les faibles pentes (pentes inférieures à 15 %).

La superficie retenue pour ce type de culture était d'environ 4 ha et la superficie effectivement travaillée au cours de la saison sèche 1973 a été de 2 ha environ (la première année, on ne cultive qu'une courbe de niveau sur deux).

Le travail du sol, pour installer et entretenir ces cultures est très important. L'enrichissement en fumure chimique est également très fort.

b) - Plantes fourragères

L'espace réservé à ce mode de culture est modeste (peut-être 0,5 ha). Ce type d'aménagement est assimilable, du point de vue du travail du sol, au type précédent.

La fumure de fond apportée est moins riche.

c) - Jachères naturelles et Jachères améliorées

Une bonne partie du versant NORD (peut-être 9 ha), a été réservée au paturage sous forme de jachère naturelle ou de jachère légèrement améliorée par l'apport de légumineuses.

Le travail du sol correspondant est faible et sans conséquence notoire sur le ruissellement.

d) - Aménagement du bas fond en rizière (2 ha 1/2)

Les travaux ont été effectués au cours de la saison des pluies 1973 - 1974. Ils ont débuté aux environs du 1er Janvier 1974 et se sont poursuivis jusqu'à la deuxième quinzaine de Mars.

Les travaux de terrassement correspondants risquent de provoquer un effet considérable sur la forme des crues.

Le réseau de drains, destinés à assécher les rizières en saison sèche, est certainement plus efficace que le réseau naturel puisque son but est de provoquer un rabattement de la nappe phréatique par rapport à son niveau actuel, et l'on peut s'attendre à un renforcement des écoulements de bases.

e) - Zones de reforestation (6 a 7 ha)

Les zones des plus fortes pentes sont réservées à la reforestation.

Les arbres ont été plantés par trouaison (trous de 40 X 40 cm), le type de travail du sol n'a pas pu avoir d'effet sensible sur le ruissellement. L'effet de la reforestation proprement dite se fera sentir au fur et à mesure de la croissance des arbres.

f) - Brise-Vent

Les brise-vent ont été installés sur les lignes de crête, c'est-à-dire dans des zones de pente nulle, sur une largeur de 20 mètres environ. Le travail mécanique correspondant (double billonnage sur sous-solage) est très important et va dans le sens d'un arrêt complet du ruissellement sur ces régions du bassin, dont le ruissellement naturel était sans doute déjà faible en raison des faibles pentes.

2 / - ACTION DU FEU

Cette action n'était pas prévue au programme des expérimentations de cette campagne, elle est involontaire.

Le feu, allumé par des personnes de passage, s'est déclaré le 3 Novembre 1973, à proximité des bassins, et s'est rapidement propagé sur les bassins NORD et SUD qui ont brûlé entièrement, malgré la protection insuffisante, des pare-feu qui les entouraient.

Nous avions envisagé dans le programme d'expérimentation de brûler le bassin témoin dans une phase ultérieure. Cette expérimentation a donc été anticipée.

Elle ne devrait pas gêner le test de mise en culture du bassin versant NORD, car le bassin SUD devrait, à notre sens, rapidement retourner à son état initial à condition que l'on améliore par la suite l'efficacité des pare-feu, de façon à éviter la répétition de cette action.

CONCLUSION

L'action prédominante pour la campagne 1973 - 1974 est certainement l'action du feu, et on peut dire que les mesures effectuées durant cette campagne vont essentiellement permettre de mettre en évidence l'effet d'un brûlis tardif sur une savane non arborée.

CHAPITRE II

LA PLUVIOMETRIE

2.1. - Aspect général des précipitations

Le ciel a été avare en précipitations à AMBATOLAINTY au cours de la saison des pluies 1973 - 1974, et cette année doit être considérée comme une année plus sèche que la précédente.

Le total des précipitations entre Octobre et Juillet atteint à peine 1.400 mm environ, contre 1.600 en 1972 - 1973 pour la même époque. Les précipitations de l'année se caractérisent par les éléments suivants :

- Absence de pluies à caractère cyclonique (séquences pluvieuses abondantes, durant plusieurs jours, à intensité régulière).
- Absence de grosses averses de type orageux.
- Abondance de petites averses et de crachin.

Le tableau n° 3 donne, à titre d'exemple, les précipitations journalières obtenus au poste n° 1.

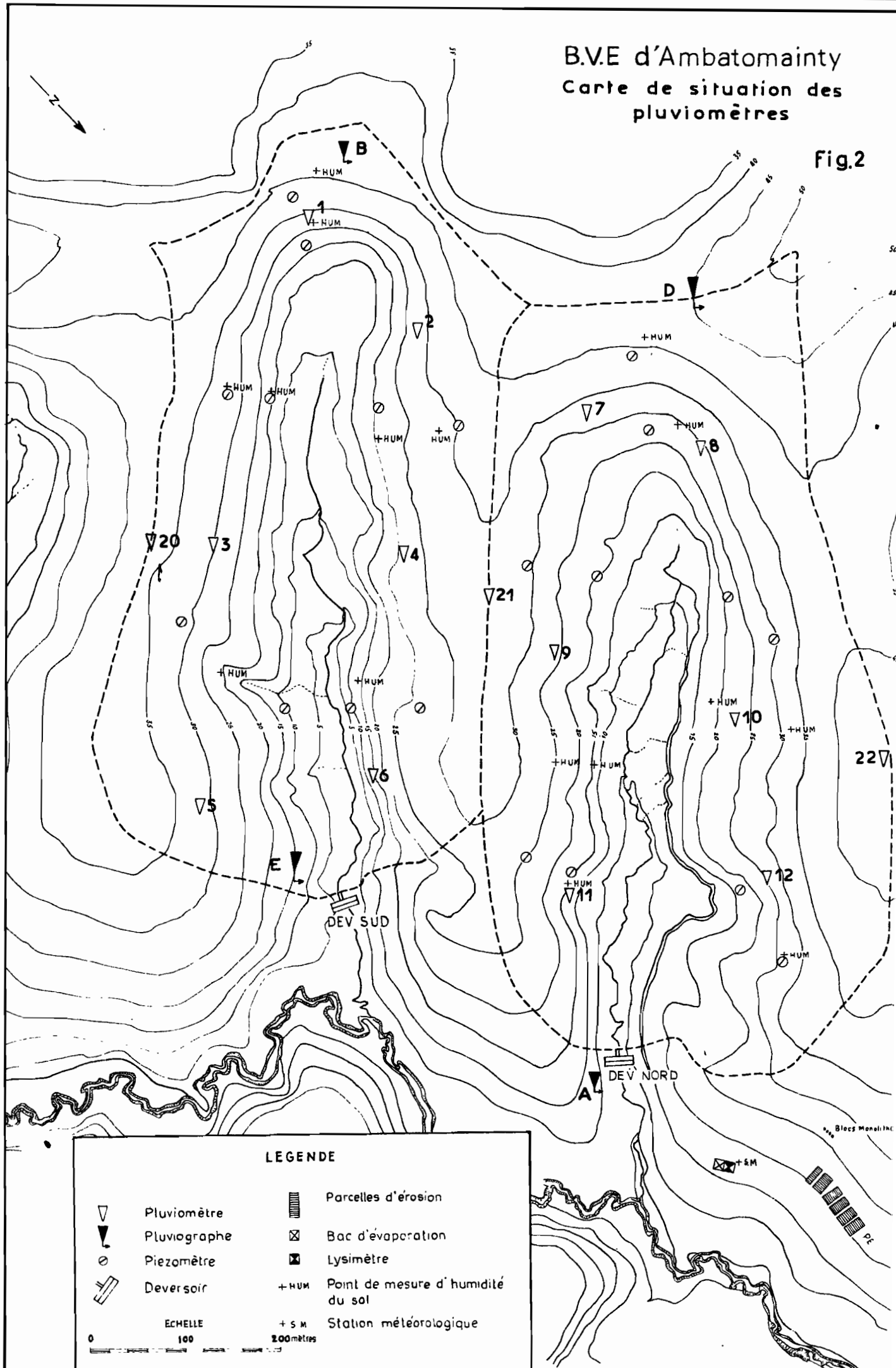
Le tableau n° 1 donne les valeurs des précipitations mensuelles et celles du total partiel pendant la saison des pluies.

2.2. - Hétérogénéité selon les versants - Moyenne spatiale

Nous avons, dans notre rapport précédent, mis en évidence une forte hétérogénéité des précipitations obtenus aux pluviomètres selon les versants, et avons expliqué le phénomène par l'effet du vent, de telle manière que les versants abrités au vent apparaissent plus arrosés que les versants exposés. Mais il ne s'agit là que des précipitations recueillies dans une surface horizontale, et la quantité réellement interceptée par les versants eux-mêmes est sans doute très différente.

B.V.E d'Ambatomainy Carte de situation des pluviomètres

Fig.2



LEGENDE

- ▽ Pluviomètre
- ▼ Pluviographe
- ⊙ Piezomètre
- ▤ Deversoir

- ▨ Parcelles d'érosion
- ⊠ Bac d'évaporation
- ⊞ Lysimètre
- + HUM Point de mesure d'humidité du sal
- + S M Station météorologique

ECHELLE

0

100

200 mètres

Tableau n° 1

B.V.E. d'AMBATOMAINTY
PRECIPITATIONS MENSUELLES (mm)
SAISON DES PLUIES 1973 - 1974

	N.Plui	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Total partiel
B.V. SUD	1	36,2	169,1	281,3	143,7	226,5	155,5	143,7	49,3	69,3	62,4	1337,0
	2	37,8	155,6	303,6	135,2	229,2	145,6	141,3	54,9	54,1	45,0	1302,3
	3	35,2	162,2	310,5	152,2	248,9	174,6	148,1	54,5	75,6	79,8	1441,6
	4	36,7	152,0	313,8	128,1	230,0	144,7	149,7	53,5	54,5	47,1	1310,1
	5	35,5	155,1	310,6	145,5	257,8	181,1	153,5	55,0	79,0	83,0	1456,1
	6	35,1	147,0	298,0	113,1	213,1	126,2	135,3	48,7	41,2	35,7	1193,4
B.V. NORD	7	37,5	164,3	292,4	129,2	213,0	138,2	151,5	55,7	56,8	47,2	1285,8
	8	39,2	162,2	304,6	128,8	216,6	134,1	160,7	57,6	55,7	43,0	1302,5
	9	36,4	174,7	308,4	143,8	242,3	171,8	165,4	57,8	78,9	78,3	1457,8
	10	38,6	157,9	304,2	127,9	225,6	134,3	151,3	57,6	52,8	42,0	1292,2
	11	38,5	174,0	333,1	146,8	255,4	175,5	166,4	57,1	80,3	78,8	1505,9
	12	39,0	159,2	303,0	106,9	203,8	111,4	140,2	51,3	38,0	24,2	1177,0
Moy. SUD	20	34,8	158,3	314,6	146,5	242,0	173,5	150,6	55,4	67,1	73,5	1416,3
	21	36,5	158,0	307,4	132,1	236,8	158,7	152,1	54,3	65,8	60,2	1361,9
	22	38,3	169,6	299,6	137,0	224,6	148,2	155,6	58,9	60,8	54,9	1347,5
Moy. NORD		38,2	165,3	307,6	130,6	226,1	144,2	155,9	56,2	60,4	52,2	1336,7
Moy. 20		36,5	161,9	307,2	138,5	234,4	160,1	152,7	56,2	64,5	62,9	1374,9
21												
22												

M.S. = Précipitations moyennes sur le bassin SUD

M.N. = Précipitations moyennes sur le bassin NORD

Moy. 20, 21, 22 = Moyennes des pluviomètres 20, 21, 22.

Tableau n° 2

B.V.E. d'AMBATOMAINTY

Averses ayant provoqué des crues remarquables

(mm)

1973 - 1974

N°	Date	NUMEROS des PLUVIOMETRES																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PM SUD	PM NORD	20	21	22	
1	7.10.73	26,0	27,3	24,0	26,2	23,8	26,2	26,7	28,3	25,3	28,0	25,9	28,0	25,5	27,0	24,7	25,8	25,8	
2	6.11.73	62,5	56,3	61,6	55,8	60,8	55,5	60,7	58,9	66,8	56,0	65,4	55,8	58,7	60,6	59,3	60,6	59,5	
3	23.11.73	43,9	36,3	35,0	34,4	29,4	31,1	41,7	40,0	38,3	36,1	35,2	35,5	35,0	37,8	34,0	35,5	39,9	
4	2.12.73	23,6	18,2	25,3	20,0	25,8	21,2	20,4	18,9	25,0	19,6	27,8	22,8	22,3	22,4	24,7	22,2	21,6	
5	3.12.73	27,3	27,8	30,0	28,8	27,0	24,5	28,1	24,4	26,5	24,1	26,2	22,2	27,5	25,2	29,5	26,6	22,0	
6	23.12.73	17,7	17,3	18,2	17,4	19,2	17,2	19,5	18,8	23,1	18,5	23,2	19,2	17,8	20,3	17,4	19,4	21,1	
7	27.12.73	24,1	22,3	24,9	22,6	23,2	22,3	22,5	23,3	25,1	25,1	26,5	25,5	23,2	24,6	24,1	23,8	24,5	
8	28.12.73	60,9	61,7	67,5	65,3	73,7	65,5	61,1	62,2	68,0	60,3	84,3	63,5	65,7	66,5	66,6	67,5	63,0	
9	29.12.73	26,2	35,2	30,0	38,5	29,0	35,7	36,5	35,2	27,4	36,0	26,6	37,6	32,4	33,2	33,3	30,8	31,0	
10	8.01.74	19,8	16,7	17,4	15,5	16,3	16,2	17,2	18,2	18,8	16,2	18,1	17,2	16,9	17,0	17,4	17,8	16,4	
11	10.02.74	18,6	20,7	24,1	22,1	25,7	21,3	21,8	21,7	23,2	22,2	23,2	18,6	22,0	21,7	23,0	23,2	21,3	
12	16.02.74	21,8	20,7	17,7	19,9	17,5	19,9	20,6	20,3	18,2	18,5	17,2	17,9	19,5	18,7	18,6	18,6	14,9	
13	18.02.74	26,0	25,5	28,8	27,2	34,9	30,5	25,7	25,2	32,5	29,7	41,3	31,1	28,8	30,9	28,6	29,5	29,5	
14	7.03.74	27,1	27,0	26,7	25,3	25,1	23,9	23,2	23,3	23,4	22,3	22,2	21,5	25,8	22,6	29,0	23,2	21,2	
15	10.03.74	18,3	17,2	19,2	16,2	17,5	14,9	15,6	16,2	15,3	13,5	15,8	12,9	17,2	14,8	19,5	15,2	13,5	
16	17.03.74	25,8	24,5	25,5	24,5	23,2	22,6	24,5	24,8	25,7	25,8	26,0	23,5	24,3	25,0	25,4	25,0	26,6	
17	3.04.74	25,5	27,5	28,9	29,5	29,8	29,0	26,5	24,5	34,7	29,0	36,7	25,5	28,3	29,4	28,9	32,5	26,5	
18	4.04.74	21,8	20,5	9,5	13,0	4,0	6,5	28,3	33,3	15,6	17,0	9,5	17,0	12,5	20,1	8,0	13,0	17,0	
19	9.04.74	26,5	27,5	26,8	29,5	31,1	30,0	26,8	28,6	31,8	32,8	31,8	30,0	28,5	30,3	27,5	29,4	33,5	
20	19.04.74	14,6	15,4	17,2	16,0	17,2	16,0	15,1	16,3	15,6	16,9	16,2	16,7	16,0	16,1	17,5	15,5	17,5	

PRECIPITATIONS JOURNALIERES

1973 - 1974

PLUVIOMETRE n° 1 (mm)

B.V.E. d'AMBATOMAINTY

J.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.
1				1,2	1,0	1,6	1,5	0,9				
2	0,1	0,1	23,6	0,7	4,3	3,5	7,2	0,2	0,5	0,6	3,5	
3			27,3	13,4	2,0	9,7	25,5	0,9	2,4	6,2	1,3	
4	0,3	0,1	2,5	15,0	12,0	0,7	21,8	17,5		2,6	1,3	1,0
5	0,2	tr	5,0	28,7	48,3	5,5	1,2	3,8	8,1	1,5	0,3	
6	8,2	62,5	5,3	2,9	3,5	1,4	3,0	6,5	7,5	5,5		
7	26,0	4,5		19,0	6,5	27,1	3,0	0,2		6,7		0,2
8	0,1	7,2		19,8	5,8	4,1	0,7	1,5		5,6		1,5
9			7,7	6,3	8,3	8,6	26,5	0,2		2,9		6,0
10			1,2	1,2	18,6	18,3	3,0	8,0		0,2	0,2	0,1
11				1,7	8,2	2,1	2,2	1,5		3,7	0,2	0,5
12				3,9	7,5	tr	3,0	4,9		0,1		2,0
13		1,1		3,0		9,3	0,7			2,5	2,9	2,7
14		5,6		1,0	0,2	0,4	0,7		0,3	3,2	5,2	0,3
15		6,7		0,4	6,9	1,3	1,3		0,5	6,6	10,0	1,3
16			2,2	4,0	21,8	0,4				3,0	2,7	0,2
17		7,8			19,7	25,8	0,3			0,2	4,6	
18	0,8				26,0	1,7	0,7	2,0	0,8	0,2	5,0	
19	0,5		0,3		0,3	7,1	14,6		9,2	0,7	0,9	
20		0,8	16,0	8,7		3,2	18,7		3,8		0,2	
21			16,2	0,2	1,5	9,0	0,2		4,4			
22			17,3		0,9	1,7	1,3		6,0		0,4	0,2
23		43,9	17,7		10,8	2,7	0,1		10,2		3,0	
24		7,3	tr	3,4	2,8	1,8			4,5	5,5	1,0	
25		4,5	10,2		6,2	2,0	0,1		1,3	0,4		
26		6,6	5,7	0,9	2,5	4,0	0,2	0,3	1,5		tr	
27			24,1	0,9	0,7	1,4			1,1			
28	tr	10,4	60,9	2,6	0,2	0,9	5,6	0,5	4,0			1,0
29			26,2	3,0		0,2		0,4	3,2			
30			7,8	0,7			0,6			3,9		
31			4,1	1,1						0,6		
Tot.	36,2	169,1	281,3	143,7	226,5	155,5	143,7	49,3	69,3	62,4	42,7	17,0

Le problème que nous nous posions était principalement d'obtenir une moyenne vraie sur les bassins versants, de façon à ne pas fausser les calculs ultérieurs de bilan hydrique.

Les pluviomètres 20, 21, 22 avaient été installés sur les lignes de crêtes à cet effet, car nous espérons obtenir sur les lignes de crêtes une valeur enregistrée plus proche de la valeur vraie.

L'hétérogénéité des précipitations observées va cette année dans le même sens que l'année dernière, mais est beaucoup plus faible.

Cette atténuation du phénomène tient à l'absence des précipitations de type cyclonique qui sont toujours accompagnées d'un vent violent. Les figures 3, 4 et 5 donnent les valeurs mensuelles recueillies aux pluviomètres pour différents mois.

On voit que les mois de pleine saison des pluies n'accusent, suivant les versants, que des différences d'environ 10 %, que les pluviomètres 6 et 12 qui avaient été placés dans de fortes pentes sur les versants exposés sont toujours très déficitaires.

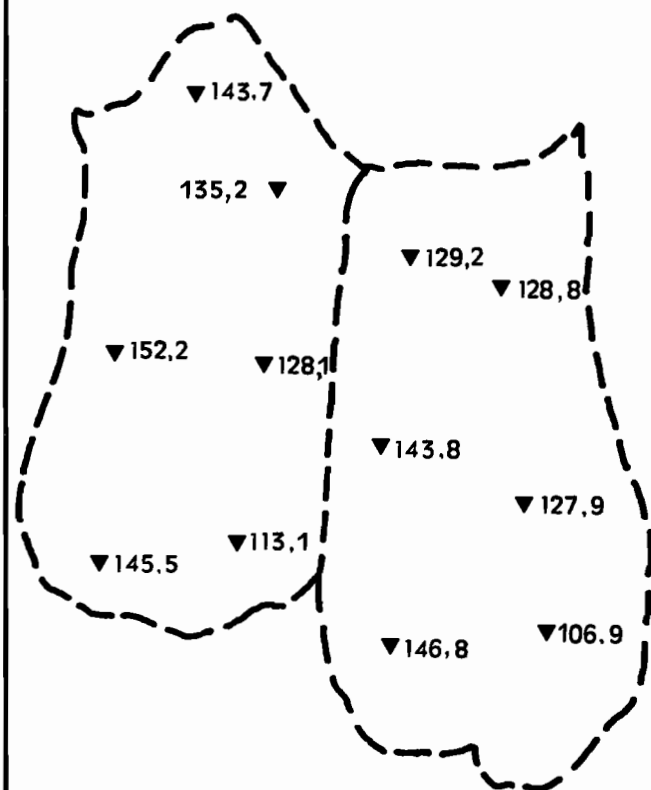
Les valeurs obtenues aux pluviomètres des crêtes 20, 21, 22 sont effectivement plus homogènes, et la moyenne de ces trois pluviomètres est sans doute plus proche de la moyenne vraie que la moyenne effectuée sur les pluviomètres situés à mi-versant.

Le rapport de cette dernière moyenne, à la moyenne des trois pluviomètres 20, 21, 22 donne respectivement selon les mois :

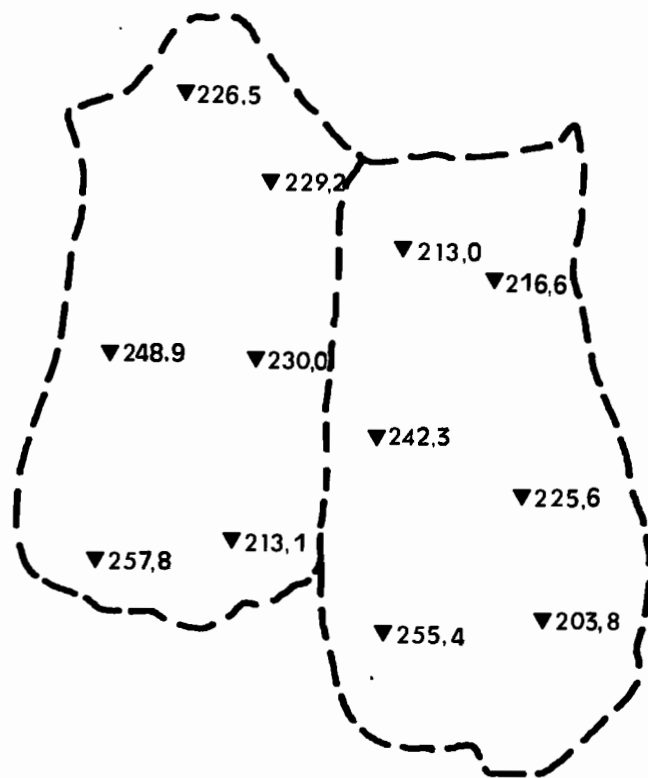
Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Total partiel
1,01	1,00	0,99	0,97	0,92	0,94	1,00	0,94	0,97	0,87	0,96

Ces rapports sont d'autant plus différents de 1, que l'hétérogénéité de versant est forte. Et il est possible, que le coefficient annuel 0,96 décroisse lorsque le vent augmente pour les années ventilées. Cette hypothèse devra être confirmée.

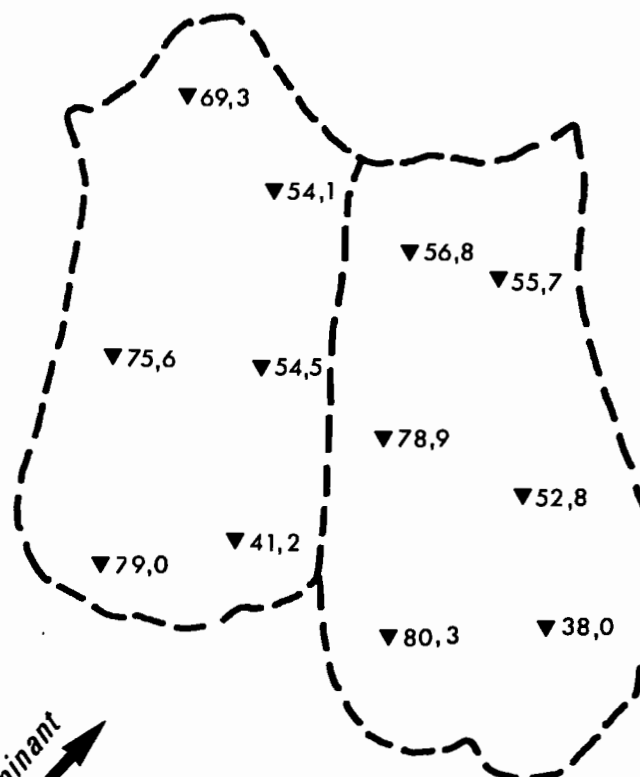
Effet du vent sur les précipitations



Gr.3 Mois de JANVIER



Gr.4 Mois de FEVRIER



Vent dominant

Gr.5 Mois de JUIN

En attendant, on peut penser que les moyennes calculées sur chaque bassin, à partir de la moyenne des six pluviomètres intérieurs, sous-estiment la valeur vraie.

Cette moyenne vraie peut se calculer pour l'année 1973 de la façon suivante :

$$\text{Moyenne vraie} = \frac{\text{Moyenne par bassin}}{0,96}$$

On peut obtenir cette moyenne vraie en ne tenant pas compte des résultats obtenus aux pluviomètres 6 et 12 situés en fortes pentes.

La moyenne des cinq pluviomètres de versants restants par bassin, devient alors pour la période observée de 1.368 mm, contre 1.374 pour la moyenne de P 20, P 21, P 22. Cette dernière moyenne des cinq pluviomètres de versants par bassin constitue peut-être une bonne approche de la moyenne vraie.

2.3. - Analyse des pluviogrammes

Les pluviogrammes obtenus aux pluviographes A, B, D, E, installés sur les bassins, ont été dépouillés selon les méthodes exposées dans le rapport précédent, et faisant apparaître les paramètres qui nous intéressent dans nos corrélations hydropluviométriques du chapitre suivant.

C i les différents corps de l'averse

Rappelons qu'il s'agit de l'ensemble des séquences adjacentes ou presque, dont l'intensité dépasse 1 mm en 5 minutes, soit 12 mm/H.

T i temps du corps d'averse correspondant

K i coefficient de forme de l'averse

K i se calcule de la façon suivante :

$$K i = \frac{P \text{ Ii} + C_{ai}}{P \text{ Ii} + C_i}$$

avec les notations suivantes :

P Ii : pluie initiale tombée avant le corps d'averse C

C = Ca + Cb + Cc où Ca est la partie de l'averse tombée, avant la séquence de 1/3 d'heure des plus fortes intensités appelée Cb.

Les tableaux 4 a et 4 b fournissent les valeurs de ces paramètres calculés à partir des pluviogrammes des appareils A et B.

Tableau n° 4 a

B.V.E. d'AMBATOMAINTY
Caractéristiques des averse remarquables
au Pluviographe A

(Corps, temps d'averse et coefficient de forme)

N°	Date	C1	C2	C3	T1	T2	T3	K1	K2	K3
1	7.10									
2	6.11	45,5			105			0,12		
3	23.11	29,5			35			0,00		
4	2.12	26,0			55			0,17		
5	3.12	16,5			50			0,69		
6	23.12	21,0			50			0,40		
7	27.12	10,0			30			0,35		
8	28.12	29,5	35,0		35	55		0,21	0,74	
9	29.12	8,5	18,0		30	60		0,40	0,68	
10	8.01									
11	10.02	14,0			40			0,51		
12	16.02	17,5			30			0,12		
13	18.02	34,5			45			0,09		
14	7.03	11,5	4,0		20	15		0,11	0,78	
15	10.03	8,5			20			0,00		
16	17.03	4,5	2,0		20	10		0,57	0,80	
17	3.04	25,0			20			0,00		
18	4.04									
19	9.04	10,0	7,0		10	15		0,05	0,69	
20	19.04	PLUVIO ARRETE								

Tableau n° 4 b

B.V.E. d'AMBATOMAINTYCaractéristiques des averses remarquablesau Pluviographe B

(Corps, temps d'averse et coefficient de forme)

N°	Date	C1	C2	C3	T1	T2	T3	K1	K2	K3
1	7.10									
2	6.11	49,0			100			0,40		
3	23.11	40,5			40			0,00		
4	2.12	20,0			60			0,07		
5	3.12	20,5			40			0,40		
6	23.12	16,5			50			0,26		
7	27.12	10,0			30			0,55		
8	28.12	22,5	19,0		35	50		0,20	0,73	
9	29.12	7,0	11,0		15	30		0,26	0,66	
10	8.01									
11	10.02	12,0			35			0,16		
12	16.02	20,5			35			0,27		
13	18.02	22,5			35			0,00		
14	7.03	18,0	2,5		20	5		0,00	0,82	
15	10.03	11,0			25			0,04		
16	17.03	7,0	2,0		20	10		0,44	0,80	
17	3.04	25,5			25			0,00		
18	4.04	20,0			40			0,45		
19	9.04	21,5			70			0,56		
20	19.04	12,5			40			0,43		

CHAPITRE III

LES ECOULEMENTS

3.1. - Aspect des écoulements, coefficient d'écoulement

Les écoulements ont été, cette année, peu abondants au même titre que les précipitations.

La nappe phréatique qui produit l'essentiel des écoulements, restitue fidèlement à la rivière les excédents des précipitations tombées au cours de la saison des pluies, sans report interannuel ou presque, les niveaux les plus bas sont en effet très voisins d'une année à l'autre.

Les coefficients totaux d'écoulement pendant la saison des pluies (1er Octobre au 31 Juillet) sont respectivement de 43,6 et 44 % pour les bassins NORD et SUD, contre 63 % en 1972 - 1973 pour une période allant du 1er Novembre au 30 Juin.

L'identité des résultats obtenus aux bassins NORD et SUD, qui confirme celle de l'année dernière, est satisfaisante car elle montre bien que les bassins sont semblables. Les travaux effectués sur le bassin NORD ne sont en effet pas perceptibles au niveau de l'écoulement total.

Les crues ont été isolées de l'écoulement de base suivant les mêmes principes que ceux de l'année précédente.

Les tableaux 5.1 et 5.2 donnent les valeurs des débits moyens journaliers ruisselés (colonne de gauche) et de l'écoulement de base (colonne de droite).

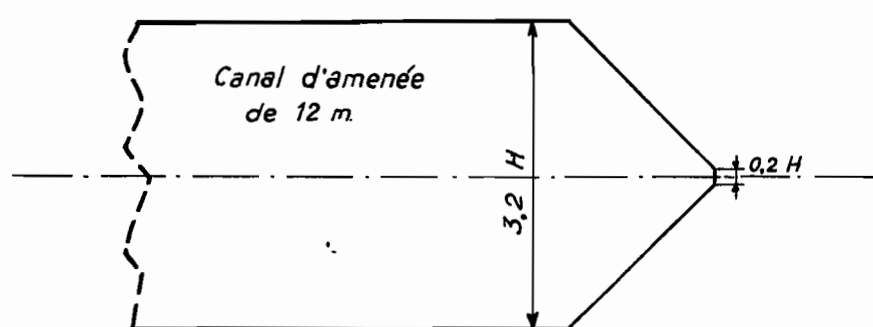
Le tableau 6 donne les valeurs mensuelles et la moyenne partielle pendant la saison des pluies des volumes ruisselés et écoulés. Les coefficients de ruissellement s'élèvent pendant cette même période à 4,5 et 5,3 % contre 7,2 % l'année précédente.

Ces coefficients sont inférieurs à ceux de l'année dernière en raison de l'absence des fortes averses génératrices de ruissellements abondants.

B.V.E. D'AMBATOMAINTY

SCHEMA DES DEVERSOIRS

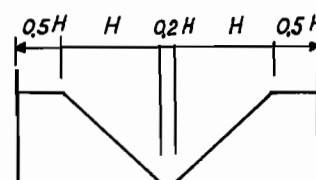
Vue de dessus



Elévation



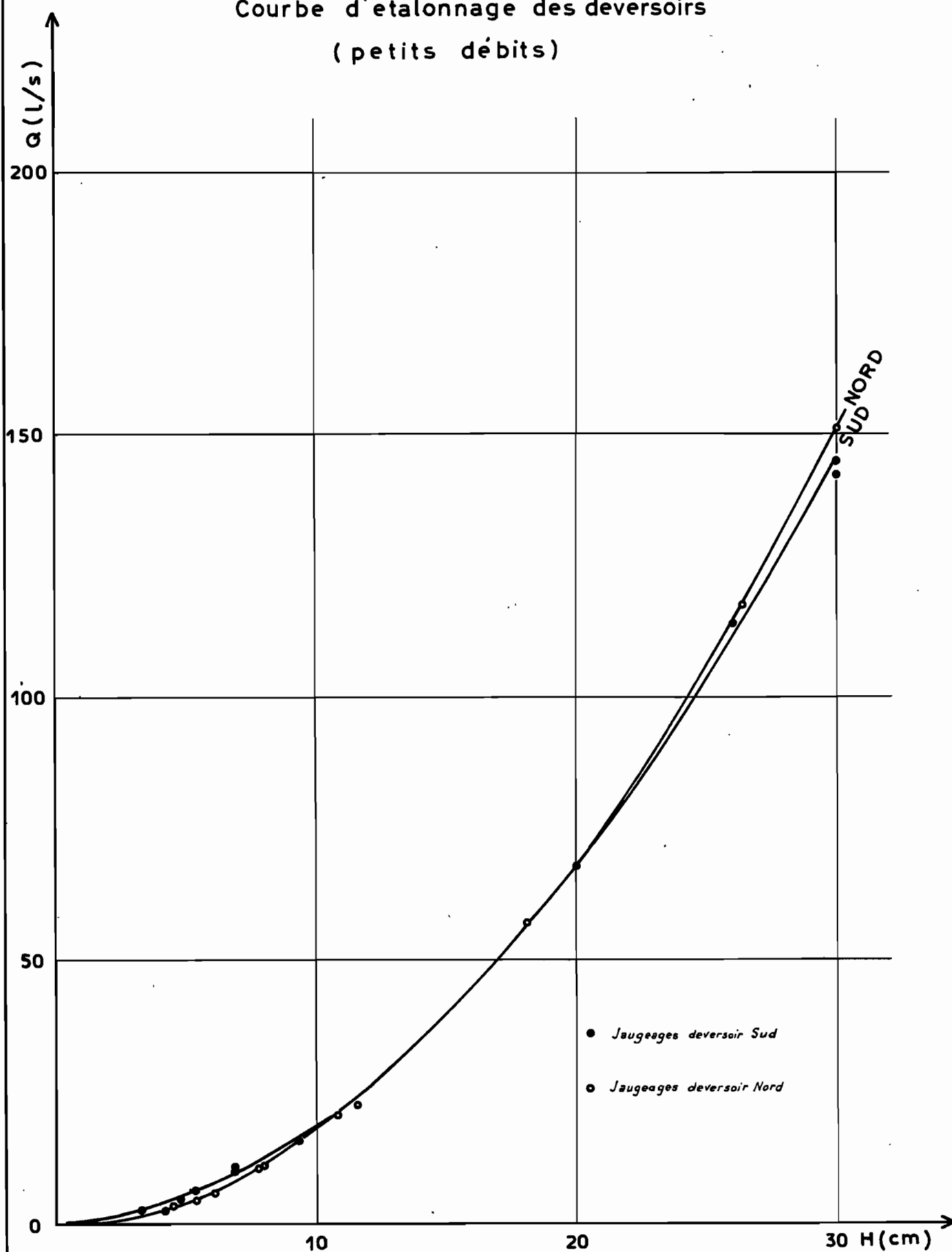
Vue de face



$$H = 4 \text{ pieds } \approx 1,22 \text{ m}$$

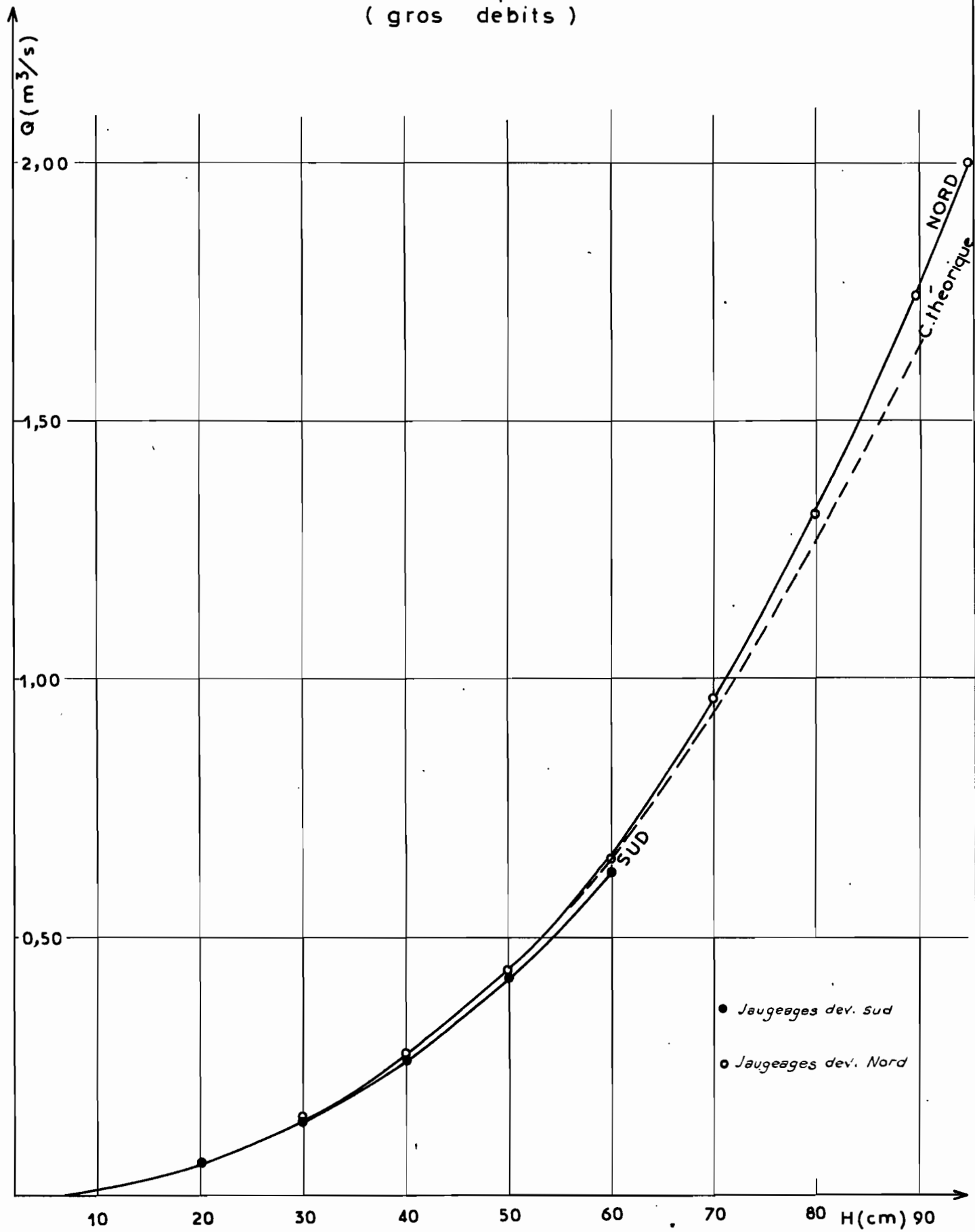
$$Q_{\max} = \text{environ } 3,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

Courbe d'étalonnage des deversoirs
(petits débits)



B.V.E. D'AMBATOMAINTY

Courbe d'étalonnage des deversoirs
(gros débits)



B.V.E. d'AMBATOINTY

BASSIN NORD

Débits moyens journaliers en l/s

1973 - 1974

J.	Octobre		Novembre		Décembre		Janvier		Février		Mars	
	Crue	D.base	Crue	D.base	Crue	D.base	Crue	D.base	Crue	D.base	Crue	D.base
1		2,6		2,0		2,4		7,8		4,0		5,9
2		2,6		1,9	2,3	6,5		6,7		4,1		5,6
3		2,6		1,9	4,8	8,0	2,0	8,0		4,8		6,2
4		2,6		2,1		6,0	1,3	9,2		6,8		6,0
5		2,4		2,3	2,0	6,0	3,2	15,5	11,5	12,8		6,2
6		4,2	10,5	12,5		4,9		10,6		7,8		9,1
7	4,2	8,8		4,8		3,8	0,8	11,4		7,2	3,4	12,0
8		3,4		4,5		3,6	2,3	11,4		6,7		6,9
9		2,8		3,3		3,9		13,9	2,4	8,0		7,7
10		2,7		2,8		3,8		9,8	3,9	14,4	2,4	10,5
11		2,3		2,6		3,3		9,2		9,1		7,8
12		2,3		2,5		2,8		8,3	2,2	10,0		6,5
13		2,3		2,5		2,8		7,8		6,2		7,0
14		2,3		3,0		2,4		6,8		6,5		6,3
15		2,0		3,9		2,5		6,3		6,5		5,9
16		2,0		2,7		2,5		6,6	3,3	10,0		5,6
17		2,0		3,7		2,5		5,7	4,7	10,3	3,6	10,2
18		2,0		4,2		2,3		5,2	15,9	13,6		7,7
19		2,3		2,5		2,3		4,9		11,2		8,4
20		2,2		2,5	2,0	3,4		8,2		9,2		8,1
21		2,2		2,1	2,7	5,0		5,0		7,9		11,1
22		2,0		2,2	3,0	7,0		4,9		8,0		8,1
23		1,9	6,2	7,8	4,5	9,0		4,4		8,8		7,5
24		2,0		4,0		4,2		5,1		7,4		7,1
25		2,1		3,5	1,8	4,3		4,8		8,2		7,3
26		2,1		4,2		4,2		4,7		7,5		8,2
27		2,0		3,0	5,6	7,8		4,3		6,4		7,2
28		1,8		5,5	38,0	27,1		4,4		6,6		7,4
29		1,8		3,3	9,0	25,0		4,3				6,4
30		1,7		2,6		15,7		4,2				5,7
31		1,6				11,2		4,2				5,6
Moy.	0,14	2,5	0,5	3,5	2,4	6,3	0,3	7,2	1,5	8,2	0,31	7,4

B.V.E. d'AMBATOMAINTY

BASSIN NORD

Débits moyens journaliers en l/s

1973 - 1974

J.	Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre	
	Crue	D.base	Crue	D.base	Crue	D.base	Crue	D.base	Crue	D.base	Crue	D.base
1		5,7		6,2		4,1		4,0				
2		5,8		5,8		4,1		3,9				
3	10,1	10,9		5,5		4,5		5,2				
4	6,1	12,1		7,2		4,3		5,1				
5		8,3		7,3		5,2		4,5				
6		8,2		6,8		9,6		5,0				
7		8,0		6,2		4,6		5,7				
8		7,1		6,0		4,4		5,8				
9	10,9	15,6		5,6		4,2		5,8				
10		8,6		6,2		4,0		4,8				
11		8,3		5,9		3,9		5,0				
12		7,7		6,0		3,8		4,4				
13		8,0		5,6		3,8		4,4				
14		8,0		5,0		3,9		4,5				
15		7,7		4,9		4,0		5,0				
16		6,7		4,8		4,0		4,1				
17		6,4		4,7		3,8		4,6				
18		6,2		4,7		3,7		4,6				
19	8,7	17,0		4,9		6,1		4,6				
20	6,7	9,4		4,4		5,5		4,1				
21		8,2		4,6		4,9		4,1				
22		7,3		4,6		5,7		3,9				
23		6,6		4,4		8,3		3,9				
24		6,2		4,5		6,0		4,2				
25		6,0		4,4		5,4		4,5				
26		6,0		4,3		4,8		3,9				
27		5,8		4,2		4,1		3,6				
28		7,2		4,3		4,6		3,7				
29		6,1		4,5		5,2		3,6				
30		6,1		4,4		4,4		3,8				
31				4,3				3,7				
Moy.	1,4	8,0	0	5,2	0	4,8	0	4,4				

B.V.E. d'AMBATOMAINTY

BASSIN SUD

Débits moyens journaliers en l/s

1973 - 1974

J.	Octobre		Novembre		Décembre		Janvier		Février		Mars	
	Crue	D.base	Crue	D.base	Crue	D.base	Crue	D.base	Crue	D.base	Crue	D.base
1		2,7		2,0		2,2		5,5		3,2		5,2
2		2,6		1,9	2,4	5,6		4,9		3,4		4,8
3		2,6		2,0	5,8	8,0	1,5	6,3		4,4		7,8
4		2,6		2,0		5,6	1,3	6,4		6,3		5,1
5		2,3		2,0	2,0	4,2	3,0	14,0	16,0	9,5		6,6
6		3,7	8,9	12,3		4,5		8,3		6,9		5,1
7	3,8	6,3		4,3		3,4	1,0	13,0		7,0	7,1	11,5
8		3,3		4,3		2,8	2,1	9,7		8,5		5,9
9		2,6		2,9		3,5		7,9	1,5	8,3		7,7
10		2,4		2,7		3,5		5,6	4,8	11,0	3,8	11,2
11		2,3		2,1		3,9		7,2		7,7		7,5
12		2,2		2,1		2,7		4,9	2,4	7,0		6,0
13		2,1		2,3		2,4		4,2		5,8		8,1
14		2,1		2,9		2,1		5,8		5,3		6,0
15		2,1		3,5		2,2		5,3		5,5		5,3
16		2,0		2,4		2,2		5,1	4,9	10,2		5,4
17		2,0		3,2		2,2		4,7	4,9	8,4	4,5	10,2
18		2,2		2,4		2,1		4,3	15,0	16,5		6,9
19		2,4		2,3		1,9		3,9		8,0		7,3
20		2,4		2,3	1,1	3,0		5,5		6,5		6,3
21		2,3		2,0	2,3	4,4		4,0		5,8		11,0
22		1,9		2,0	2,5	7,5		3,6		6,2		7,3
23		2,0	5,9	7,5	3,5	8,3		3,4		9,2		6,4
24		2,3		3,9		3,9		4,0		6,8		6,4
25		2,2		3,4	2,1	4,1		3,7		6,7		6,9
26		2,0		3,9		3,9		3,6		6,3		8,2
27		2,1		2,9	4,7	8,5		3,5		5,5		8,8
28		1,9		4,8	42,0	25,5		3,6		5,1		6,3
29		1,9		3,0	10,1	22,0		3,6				5,7
30		1,9		2,8		10,8		3,6				5,1
31		1,9				8,0		3,5				4,9
Moy.	0,12	2,4	0,4	3,2	2,5	5,6	0,2	5,5	1,7	7,1	0,49	6,9

B.V.E. d'AMBATOMANTY

BASSIN SUD

Débits moyens journaliers en l/s

1973 - 1974

J.	Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre	
	Crue	D.base	Crue	D.base	Crue	D.base	Crue	D.base	Crue	D.base	Crue	D.base
1		5,2		5,5		3,8		3,8				
2		5,6		5,2		3,8		3,7				
3	17,5	10,0		5,0		4,1		5,2				
4	4,8	10,8		6,2		4,2		5,3				
5		6,9		6,9		5,1		4,6				
6		7,3		5,7		8,7		5,5				
7		7,3		5,5		4,5		6,1				
8		6,0		5,6		4,2		6,2				
9	11,7	13,8		4,9		3,9		6,0				
10		7,8		5,9		3,9		5,1				
11		7,0		5,8		3,6		4,8				
12		6,8		6,0		3,5		4,5				
13		6,5		5,3		3,4		4,4				
14		6,4		4,9		3,5		4,9				
15		6,2		4,7		3,6		5,6				
16		5,7		4,4		3,6		5,1				
17		5,5		4,1		3,4		4,8				
18		5,7		4,6		3,5		4,3				
19	3,0	7,9		4,4		5,9		4,2				
20	7,8	8,0		4,3		5,2		4,0				
21		7,1		4,1		4,7		3,8				
22		6,1		4,0		5,6		3,7				
23		5,7		4,0		7,9		3,7				
24		5,3		4,1		5,6		4,3				
25		5,1		3,9		5,2		4,1				
26		5,1		3,9		4,2		4,0				
27		4,8		3,8		3,9		3,5				
28		5,5		3,8		4,7		3,5				
29		5,0		3,9		5,1		3,4				
30		5,0		3,9		4,0		3,8				
31				3,8				3,7				
Moy.	1,4	6,7	0	4,7	0	4,5	0	4,5				

1973 - 1974

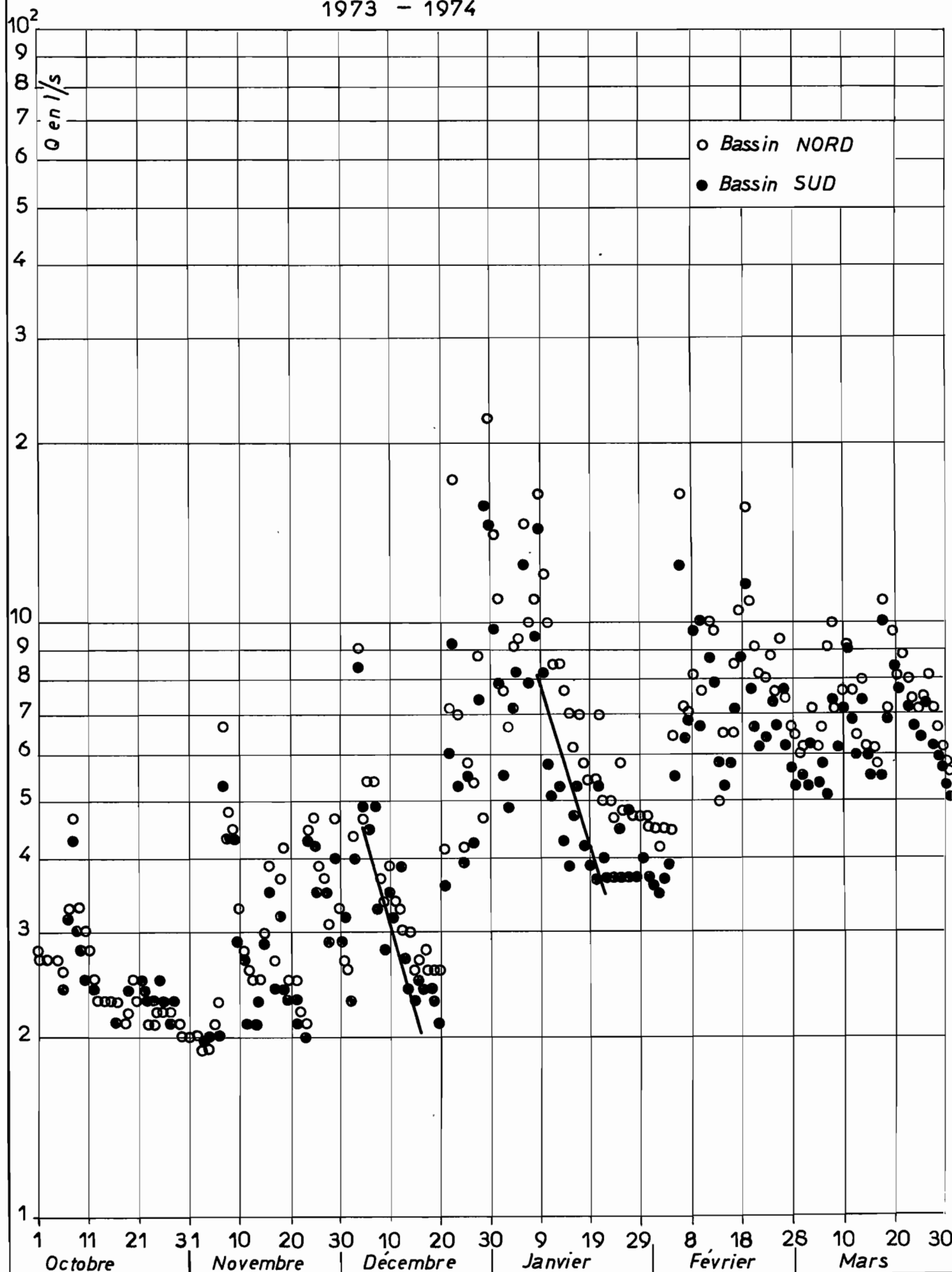


Tableau n° 6

B.V.E. d'AMBATOMAINTY
 ECOULEMENTS 1973 - 1974
 " TABLEAU RECAPITULATIF "

Mois		B.V. NORD S = 0,29 Km2			B.V. SUD S = 0,26 Km2		
		Q j moyen l/s	V m3	Le mm	Q j moyen l/s	V m3	Le mm
Octobre	R	0,1	363	1,2	0,1	328	1,2
	E	2,6	7068	24,4	2,5	6833	26,2
Novembre	R	0,5	1443	4,9	0,4	1279	4,9
	E	4,0	10636	36,7	3,6	9755	37,4
Décembre	R	2,4	6540	22,5	2,5	6782	26,0
	E	8,7	23492	81,0	8,1	21893	84,0
Janvier	R	0,3	829	2,8	0,2	769	2,9
	E	7,5	20148	69,5	5,7	15682	60,2
Février	R	1,5	3793	13,0	1,7	4277	16,4
	E	9,7	23665	81,6	8,9	21643	83,1
Mars	R	0,3	812	2,8	0,5	1331	5,1
	E	7,7	20788	71,7	7,4	20071	77,1
Avril	R	1,4	3672	12,6	1,4	3871	14,9
	E	9,4	24512	84,5	8,1	21246	81,5
Mai	E	5,2	14014	48,3	4,7	12796	49,2
Juin	E	4,8	12519	43,2	4,5	11776	45,3
Juillet	E	4,4	11923	41,1	4,5	12061	46,3

Notations : E = Ecoulements totaux

R = Ruissellement

(du 1er Octobre au 31 Juillet)	NORD	SUD
Coefficient d'écoulement	43,6	44
Coefficient de ruissellement	4,5	5,3

Le fait que le ruissellement sur le bassin NORD soit inférieur cette année au ruissellement du bassin SUD, traduirait peut-être une diminution du ruissellement de ce bassin, consécutive aux travaux du sol effectués sur les versants (brise-vent, cultures vivrières).

Il serait cependant hâtif de conclure à l'examen de ces seuls résultats. Nous savons en effet que les ruissellements provoqués sur les deux bassins par une même averse peuvent être très différents en raison de l'hétérogénéité spatiale des averses, et que le coefficient annuel de ruissellement contient lui-même une part aléatoire, part difficilement appréciable.

L'étude analytique des crues qui fait l'objet des paragraphes suivants, pourra nous en dire plus sur ce point.

3.2 - Bilan hydrique annuel

Les mesures et dépouillements des mois de saison sèche fait l'objet de tableaux qui ne sont malheureusement pas en notre possession au moment de la rédaction du présent rapport et nous ne sommes pas encore en mesure d'établir des bilans hydriques annuels complets.

Le rapport définitif aura pour objectif essentiel d'établir ces bilans annuels et partiels.

L'objectif des rapports intérimaires consiste essentiellement à mettre au point les méthodologies permettant d'aborder les différents termes du bilan.

3.3. - Analyse des crues

Le tableau 7 donne les principales caractéristiques des crues mesurées sur le bassin pendant la campagne. Nous disposons au total pour notre analyse de vingt crues dont la plupart correspondent à des lames ruisselées inférieures à 2 mm.

3.3.1 - Détermination des caractéristiques pluviométriques moyennes par bassin

Les grandeurs utilisées pour notre étude sont les corps d'averse moyens par bassin CN (NORD), CS (SUD), les temps de corps d'averse TN, TS,

Tableau n° 7

B.V.E. d'AMBATOMAINTY
Caractéristiques des Crues
1973 - 1974

N°	Date	tm	tb	td	Q max	Vr	Lr mm	P mm	Kr
N 1	7.10	2 h 04	4 h 24	2 h 20	0,061	365	1,26	27,0	5
S 1	7.10	2 h 21	5 h 28	3 h 07	0,045	329	1,26	25,5	5
N 2	6.11	0 h 58	3 h 39	2 h 41	0,239	907	3,13	60,6	5
S 2	6.11	1 h 14	3 h 31	2 h 17	0,188	770	2,96	58,7	5
N 3	23.11	0 h 53	3 h 31	2 h 38	0,157	536	1,85	37,8	5
S 3	23.11	1 h 05	3 h 38	2 h 33	0,141	508	1,95	35,0	6
N 4	2.12	1 h 47	4 h 00	2 h 13	0,039	199	0,69	22,4	3
S 4	2.12	1 h 25	5 h 14	3 h 49	0,026	211	0,81	22,0	4
N 5	3.12	1 h 20	3 h 43	2 h 23	0,093	419	1,44	25,2	6
S 5	3.12	1 h 01	3 h 27	2 h 26	0,137	504	1,94	27,5	7
N 6	23.12	1 h 16	4 h 08	2 h 52	0,075	386	1,33	20,3	7
S 6	23.12	1 h 45	4 h 11	2 h 26	0,054	264	1,01	17,8	6
N 7	27.12	1 h 38	5 h 48	4 h 10	0,057	482	1,66	24,6	7
S 7	27.12	2 h 23	6 h 09	3 h 46	0,053	410	1,58	23,2	7
N 8	28.12	0 h 50	3 h 30	2 h 40	1,110	664	2,28	66,5	17
		0 h 30	2 h 45	2 h 03		2626	9,05		
S 8	28.12	0 h 44	2 h 54	2 h 10	0,870	1200	4,61	65,7	21
		0 h 34	3 h 20	2 h 28		2436	9,37		
N 9	29.12	2 h 33	4 h 50	2 h 17	0,176	777	2,68	33,2	8
S 9	29.12	2 h 37	5 h 04	2 h 27	0,176	874	3,36	32,4	10
N10	8.01	2 h 17	4 h 36	2 h 19	0,037	199	0,69	17,0	4
S10	8.01	2 h 10	5 h 18	3 h 08	0,028	178	0,68	16,9	4
N11	10.02	0 h 48	2 h 56	2 h 08	0,104	338	1,16	21,7	5
S11	10.02	1 h 12	3 h 25	2 h 13	0,095	417	1,60	22,0	7
N12	16.02	0 h 47	3 h 00	2 h 13	0,098	294	1,01	18,7	5
S12	16.02	1 h 08	3 h 13	2 h 05	0,104	422	1,62	19,5	8
N13	18.02	0 h 40	3 h 00	2 h 20	0,490	1370	4,72	30,9	15
S13	18.02	0 h 50	2 h 54	2 h 04	0,400	1289	4,96	28,8	17

Tableau n° 7 (suite)

N°	Date	tm	tb	td	Q max	Vr	Lr mm	P m	Kr
N14	7.03	0 h 48	3 h 00	1 h 56	0,054	292	1,01	22,6	4
S14	7.03	0 h 53	3 h 40	2 h 47	0,104	592	2,28	25,8	9
N15	10.03	0 h 58	4 h 29	3 h 31	0,037	203	0,70	14,8	3
S15	10.03	1 h 11	4 h 27	3 h 16	0,060	326	1,25	17,2	7
N16	17.03	2 h 14	5 h 08	2 h 54	0,042	311	1,07	25,0	4
S16	17.03	2 h 30	5 h 26	2 h 56	0,046	385	1,48	24,3	6
N17	3.04	0 h 26	3 h 22	2 h 56	0,400	881	3,03	29,4	10
S17	3.04	0 h 36	3 h 30	2 h 54	0,420	1517	5,83	28,3	21
N18	4.04	0 h 51	3 h 45	2 h 54	0,137	533	1,83	20,1	9
S18	4.04	0 h 65	2 h 40	2 h 02	0,110	415	1,59	12,5	13
N19	9.04	2 h 20	4 h 44	2 h 24	0,282	948	3,26	30,3	11
S19	9.04	2 h 34	4 h 50	2 h 16	0,210	1013	3,89	28,5	14
N20	19.04	0 h 54	3 h 13	2 h 19	0,047	184	0,63	16,1	4
S20	19.04	1 h 30	3 h 31	2 h 01	0,051	264	1,01	16,0	6

Notations utilisées

tm = temps de montée de la crue (heures et minutes)

tb = temps de base (heures et minutes)

td = temps de descente (heures et minutes)

Q max. = débit maximum de crue (m³/s)

Vr = Volume ruisselé (en m³)

Lr = Lane ruisselée (en mm)

P = Valeur moyenne des précipitations en 24 heures sur le bassin (en mm)

Kr = Coefficient de ruissellement $Kr = \frac{Lr}{P}$

les coefficients de forme de l'averse K_N et K_S et les pluviométries moyennes en 24 heures P_N et P_S . La détermination de ces grandeurs à partir des mesures ponctuelles obtenues aux différents pluviographes A, B, C, D se fait selon un processus qui a été décrit dans le rapport précédent (choix du pluviogramme dont la pluviométrie en 24 heures se rapproche le plus de la pluviométrie moyenne en 24 heures du bassin. C_N , C_S sont obtenus à partir des valeurs ponctuelles par le rapport des pluviométries en 24 heures du poste retenu à celles du bassin retenu exemple :

$$C_N = \frac{C_A \times P_N}{P_A}).$$

Au niveau de la confrontation des événements PLUIE et des événements CRUE on essaie autant que possible de composer les informations relatives à l'averse lorsque celle-ci est complexe, de façon à obtenir des paramètres globaux caractérisant l'ensemble de la crue. La combinaison des grandeurs relatives aux différents corps d'averse se fait de la façon suivante :

Corps d'averse global de la crue c'est la somme des différents corps d'averse qui ont provoqué des ruissellements.

Temps d'averse global de la crue la somme des différents temps d'averse correspondants.

Coefficient de forme de la crue la détermination d'un paramètre global K est plus délicate. Elle s'obtient par une combinaison linéaire des différents K_i mais nous ignorons à priori cette combinaison puisqu'elle est liée aux lois de l'infiltration que nous voulons établir. On procède de façon approximative.

Comme nous l'expliquons dans les paragraphes suivants la valeur de K sert à définir la quantité d'eau qu'il faut fournir au sol pour qu'il atteigne l'état de saturation, état dans lequel la loi de l'infiltration devient remarquablement simple.

En pratique cette quantité d'eau est fournie par le premier corps d'averse ayant provoqué des ruissellements, les corps d'averse suivant ruissellant dans les conditions de saturation maximales. La seule correction

à apporter porte sur le premier corps d'averse et le coefficient de forme global de la crue est généralement égal au coefficient du premier corps d'averse ayant provoqué des ruissellements (la forme de la crue nous renseigne à ce sujet).

Dans certains cas particuliers, lorsqu'un corps d'averse, d'une averse donnée, a provoqué un ruissellement négligeable par rapport aux corps d'averse suivants, on est amené à ne pas retenir ce corps d'averse dans la pluie utile de la crue.

Deux exemples vont nous permettre d'éclaircir ce processus de détermination des paramètres pluviométriques globaux.

CORPS D'AVERSE				PARAMETRES GLOBAUX
Averse	: C1	C2	C3	
	K1	K2	K3	
Ruissellement	: Nul	abondant	abondant	$\left\{ \begin{array}{l} C = C2 + C3 \\ K = K2 \end{array} \right.$
Ruissellement	: Nul	négligea- ble	abondant	$\left\{ \begin{array}{l} C = C3 \\ K = K3 \end{array} \right.$

Ce travail de dépouillement effectué en 1972 - 1973 était sans doute moins élaboré et ne se conformait pas à des critères aussi stricts. Mais nous pouvons dire que le dépouillement reste homogène sur les deux années.

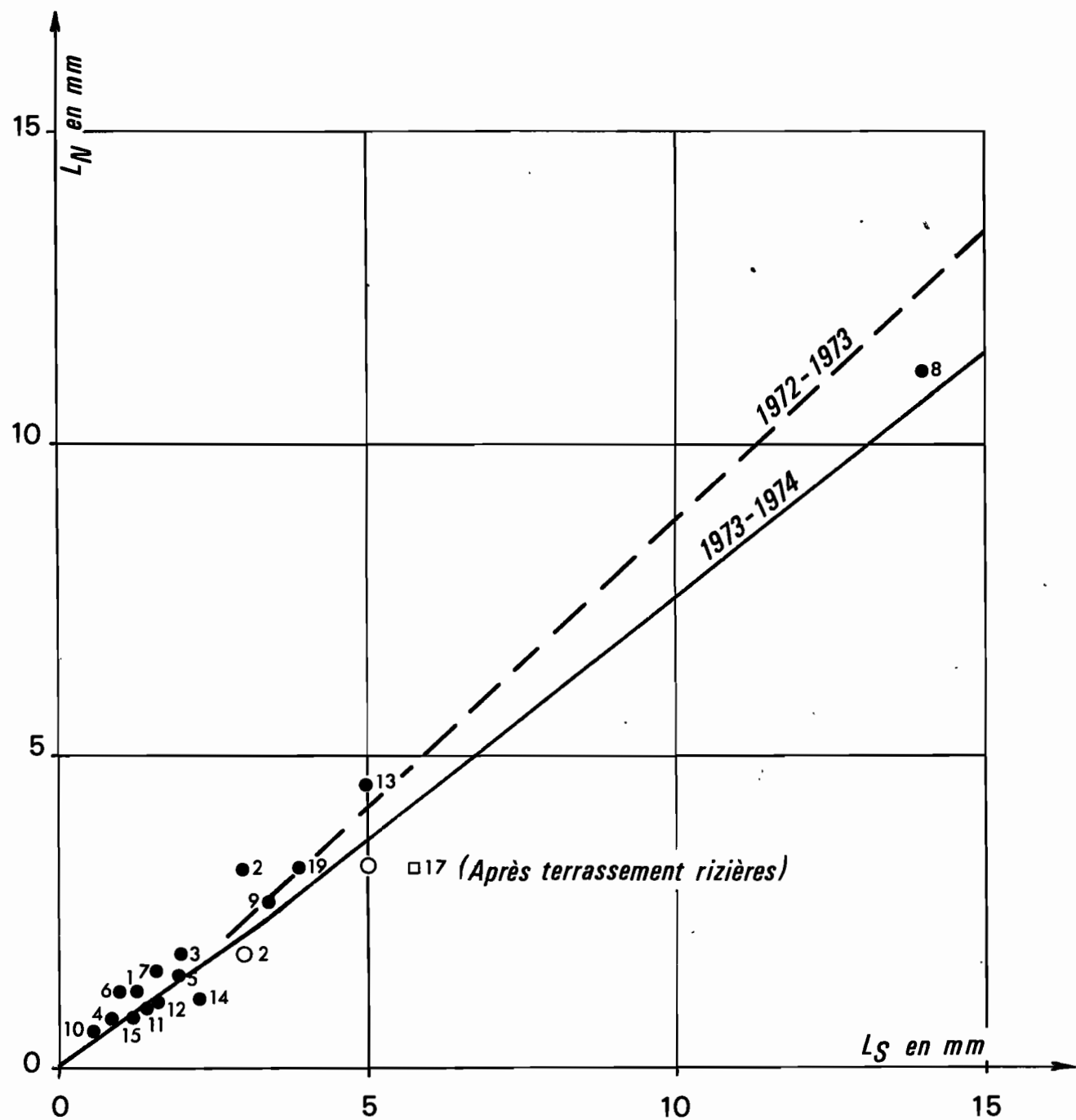
Le travail sera de toutes façons repris mécanographiquement et les résultats acquis pour l'instant peuvent être considérés comme provisoires.

3.3.2. - Comparaison des lames ruisselées (cf. rapport 1972 - 1973)

La corrélation entre les lames ruisselées sur les bassins SUD et NORD relatives à une même averse, est représentée sur le graphique 10 à partir des valeurs recueillies dans le tableau 8.

Une correction sur les valeurs brutes est apportée en fonction de la différence des corps d'averse NORD et SUD (CN - CS cor) lorsque la lame ruisselée dépasse la valeur de 3,5 mm.

Comparaison des lames ruisselées



Comparaison des lames ruisselées.

Correction de l'écart à la courbe
en fonction de la différence des corps d'averse

(Relation établie en 1972-73)

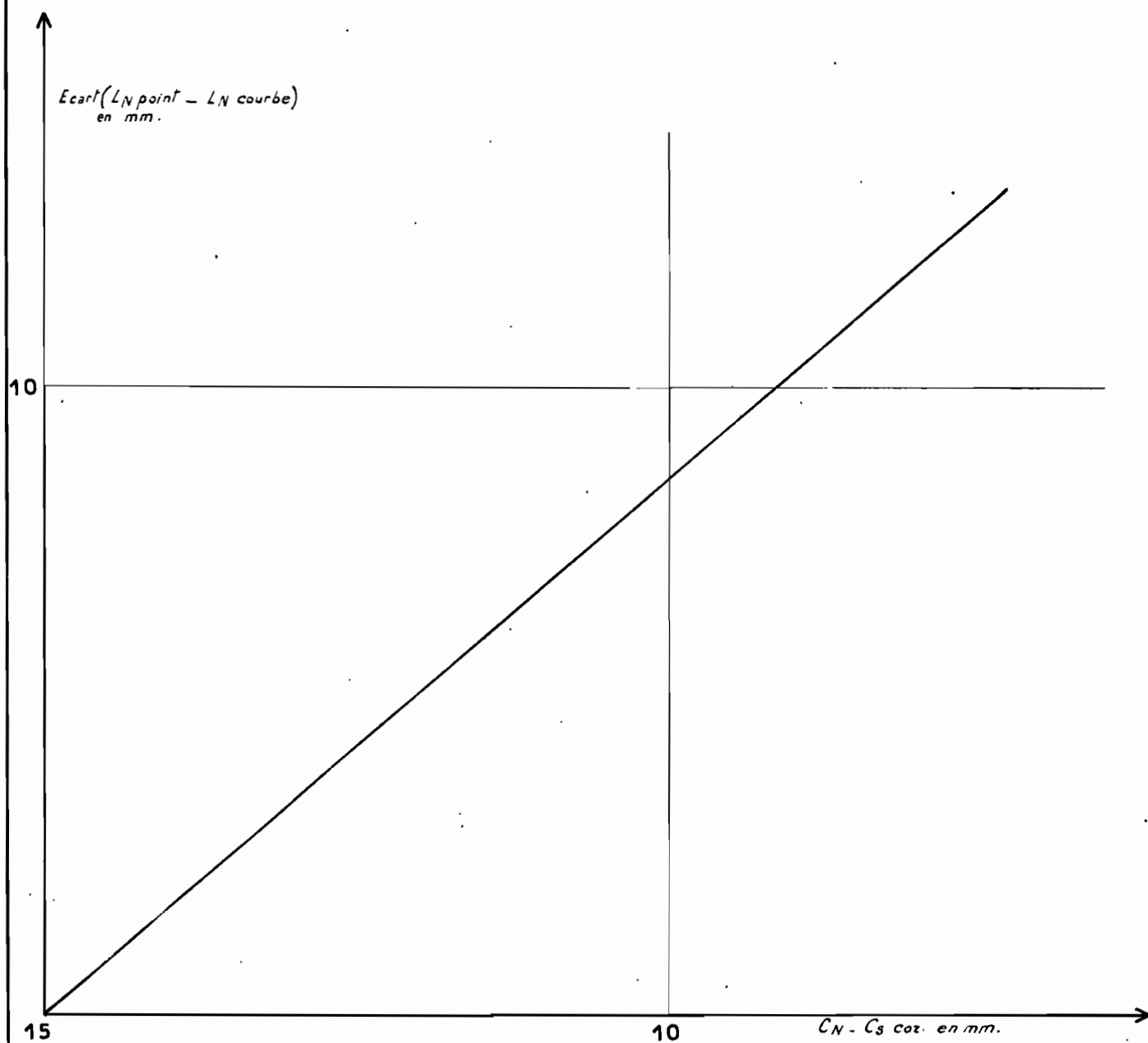


Tableau n° 8

B.V.E. d'AMBATOMAINY

Comparaison des lames ruisselées

1973 - 1974

	P L U I E								C R U E	
	P _N	P _S	C _N	T _N	T _S	C _S	C _N -C _S ^{cor}	L _N	L _S	
1	27,0	25,5							1,2	
2	60,6	58,7	47,2	102	102	45,5	1,7	3,1	3,0	
3	37,8	35,0	35,5	40	35	34,0		1,9	2,0	
4	22,4	22,3	22,3	57	57	22,2		0,7	0,8	
5	25,2	27,5	17,6	50	40	20,0		1,4	1,9	
6	20,3	17,8	18,7	50	50	16,8		1,3	1,0	
7	24,6	23,2	9,9	30	30	9,8		1,7	1,6	
8	66,5	65,7	48,2	85	80	48,2	0	11,4	14,0	
9	33,2	32,4	29,0	90	90	28,2	1,0	2,7	3,4	
10	17,0	16,9								
11	21,7	22,0	15,2	40	40	15,3		1,2	1,6	
12	18,7	19,5	19,0	30	35	18,3		1,0	1,6	
13	30,9	28,8	26,5	40	40	24,8	1,7	4,7	5,0	
14	22,6	25,8	12,1 4,3	20 15	25	19,5		0,7 0,3	2,3	
15	14,8	17,2	8,9	20	25	11,3		0,7	1,3	
16	25,0	24,3	8,6	30	30	6,9		1,1	1,5	
17	29,4	28,3	23,2	20	25	24,8	- 1,6	3,0	5,8	
18	20,1	12,5								
19	30,3	28,5	11,1 7,8	10 15	70	21,5		0,4 2,9	3,9	
20	16,1	16,0	13,2	40	40	13,2		0,6	1,1	

La position de la droite de corrélation est essentiellement déterminée par le point n° 8 correspondant à l'averse du 28 Décembre 1973 qui est malheureusement produit par une averse dont l'interprétation est difficile.

En prenant pour hyétogrammes moyens des bassins NORD et SUD le hyétogramme moyen des hyétogrammes B et C, la correction sur ce point par $CN - CS$ est nulle, puisque $CN = CS$ et nous avons fait passer la droite très près de ce point.

Ces corrélations sont traduites par les équations suivantes :

$$\begin{aligned} 1^\circ/ \quad LS &< 3,5 \text{ mm} \\ LN &= 0,75 \quad LS \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2^\circ/ \quad LS &> 3,5 \text{ mm} \\ LN &= 0,8 \quad LS - 0,4 + 0,85 \quad (CN - CS) \end{aligned}$$

Evolution par rapport à l'année précédente

Pour les petites crues, la pente de la droite est pratiquement la même que l'année dernière. La pente de la droite correspondant aux grosses crues semble par contre avoir diminuée. Cette évolution, si elle est significative, peut s'expliquer par le travail du sol effectué sur les zones de faibles pentes, (cultures vivrières et brise-vent) qui tend à supprimer sur ces aires tout ruissellement.

Il semble bien, par conséquent, que le travail du sol, relativement modeste (en superficie) effectué cette année sur les versants du bassin NORD, ait déjà réduit le ruissellement pour les fortes crues d'environ 15 %.

3.3.3. - Comparaison des temps de montée

Comme pour l'année précédente nous avons reporté, pour toutes les crues, la valeur des temps de montée (graphique 12) en fonction de la lame ruisselée. Les enveloppes minimales des nuages de points obtenus représentent la courbe de variation du temps de montée de la crue unitaire (crues provoquées par des averses de courte durée) en fonction de l'importance de cette crue.

Les temps de montée, qui sont de l'ordre de 70 minutes à 50 minutes pour les petites crues, décroissent pour les crues plus importantes jusqu'à une valeur constante de 30 minutes. La décroissance du temps de montée, lorsque la crue augmente, s'explique à notre sens par l'amélioration des conditions d'écoulement dans le bas fond lorsque ces écoulements deviennent importants.

La tendance asymptotique horizontale rend valide la théorie de l'hydrogramme standard pour les fortes crues (supérieures à 10 mm).

Comparaison par rapport à l'année précédente

Les deux courbes tracées cette année pour les bassins NORD et SUD sont bien au-dessous de la courbe unique tracée l'année précédente, et cette évolution est indiscutablement imputable à l'action du feu puisqu'elle touche les deux bassins à la fois.

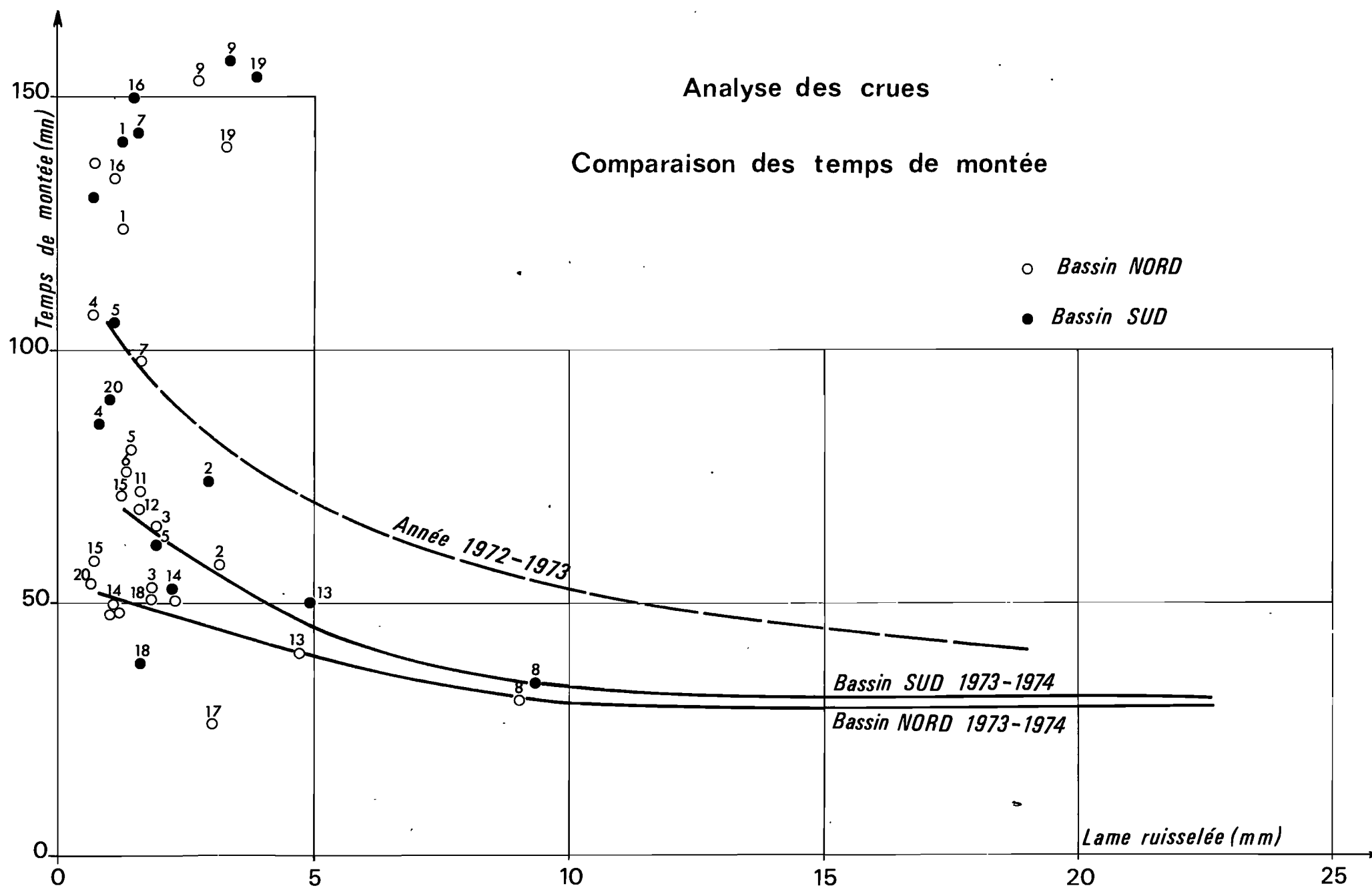
Cette action qui consiste, en fait, à dégager la paille accumulée sur place par les graminées a produit les effets suivants :

- Diminution du temps de montée en crue particulièrement sensible pour les petites crues, et d'environ 15 minutes pour les fortes crues (les courbes sont imprécises dans cette zone).

- Plus grande fidélité de réponse du bassin par rapport à l'averse. En d'autres termes, la durée du temps de montée est beaucoup plus influencée par la durée de l'averse qu'avant le feu.

Analyse des crues

Comparaison des temps de montée



La couche de paille existant avant le feu avait l'effet d'un tampon qui restituait la pluie au sol après un certain temps, provoquant ainsi un étalement de la forme de l'averse.

3.3.4. - Temps de descente

Nous n'avons pas observé de réduction sensible du temps de descente. Les temps de descente minimum se situent comme pour l'année précédente aux alentours de 2 heures.

3.3.5. - Evolution de la forme de la crue

Pour un même volume ruisselé, une diminution du temps de montée entraîne un accroissement du débit de pointe et il nous a paru intéressant d'étudier l'évolution du coefficient de forme de la crue avec les notations suivantes :

$$K = \frac{Q_{MAX}}{Q_M}$$

- Q_{MAX} : Débit instantané maximum
- Q_M : Débit moyen de la crue

$$Q_M = \frac{V_{ruis}}{t_b}$$

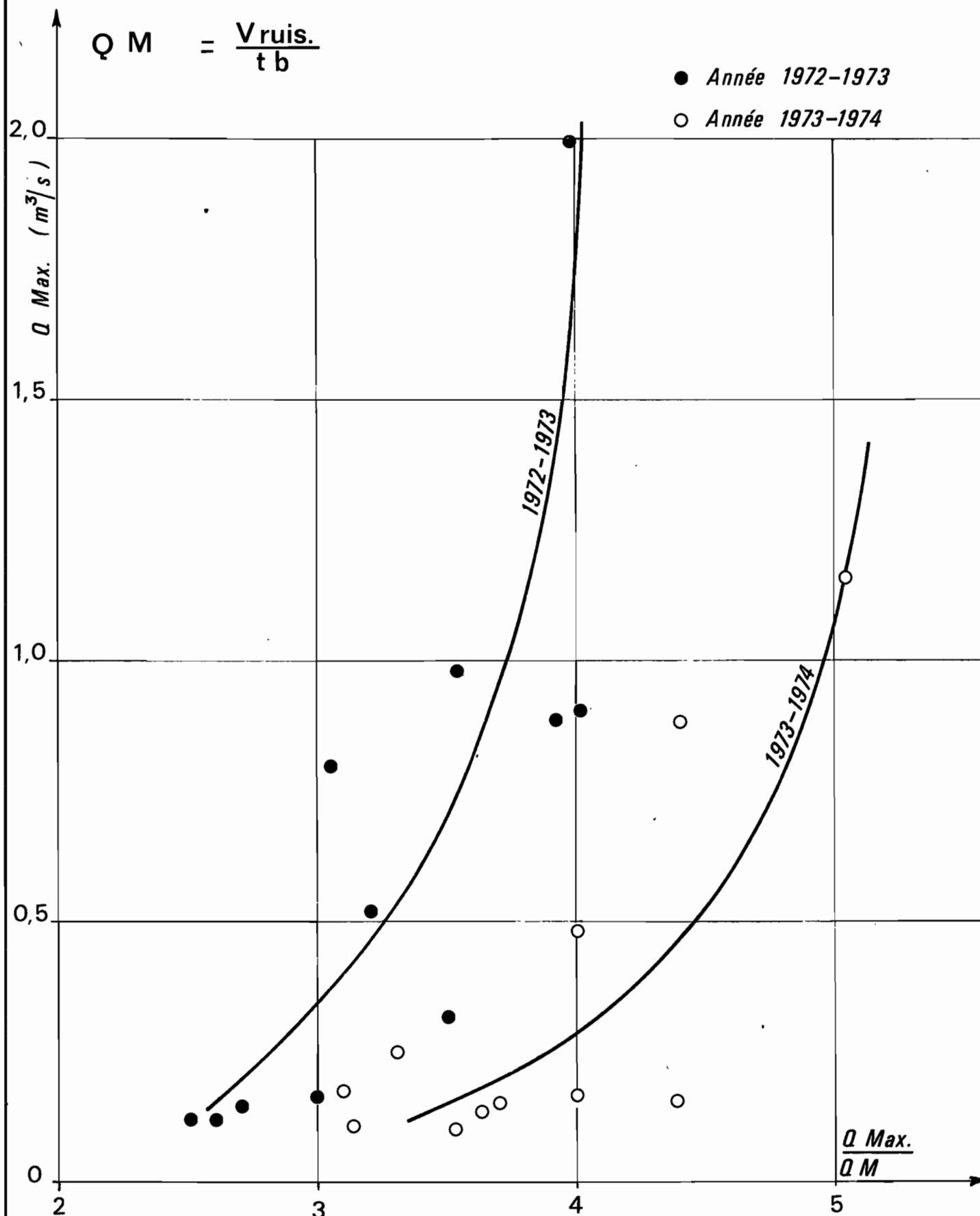
- V_{ruis} : Volume ruisselé
- t_b : temps de base de la crue

Le graphique 13 montre l'évolution moyenne du coefficient de forme de l'averse en fonction du maximum de crue.

Les courbes ont été tracées à partir des crues simples observées sur les bassins NORD et SUD dont les valeurs ont été mélangées.

On voit que la courbe moyenne 1973 - 1974 correspond à des crues beaucoup plus agressives pour un même volume ruisselé. Le coefficient de forme augmente avec le débit maximum et se stabilise à une valeur de 4 pour l'année 1972 - 1973, alors qu'il dépasse 5 pour les fortes crues de l'année 1973 - 1974.

Variation du coefficient de forme de la crue $\frac{Q \text{ Max.}}{Q M}$ en fonction du débit maximum $Q \text{ Max.}$



3.3.6. - Etude de l'infiltration sous des précipitations d'intensité saturante (cf. rapport de l'année précédente)

Cette étude part du principe que les crues sont produites par des averses dont les intensités, d'une partie au moins de l'averse, ont dépassé la capacité d'absorption moyenne du bassin.

Elle consiste à étudier la quantité d'eau infiltrée (C - L) pendant cette fraction de l'averse appelée corps d'averse (C) qui est définie à priori comme étant la partie, ou les parties de l'averse, dont les intensités dépassent un certain seuil choisi. Nous avons pris, l'année passée, la valeur de 1 mm en 5 minutes pour définir ce seuil, et avons conservé le même seuil en 1973 - 1974

La courbe C - L en fonction du temps du corps d'averse représente la courbe intégrale de la courbe de capacité d'absorption du sol.

On a vu que, lorsque la saison des pluies a déjà bien commencé, c'est-à-dire lorsque le sol en début d'averse est déjà assez humide, la valeur de C - L pouvait se mettre sous la forme :

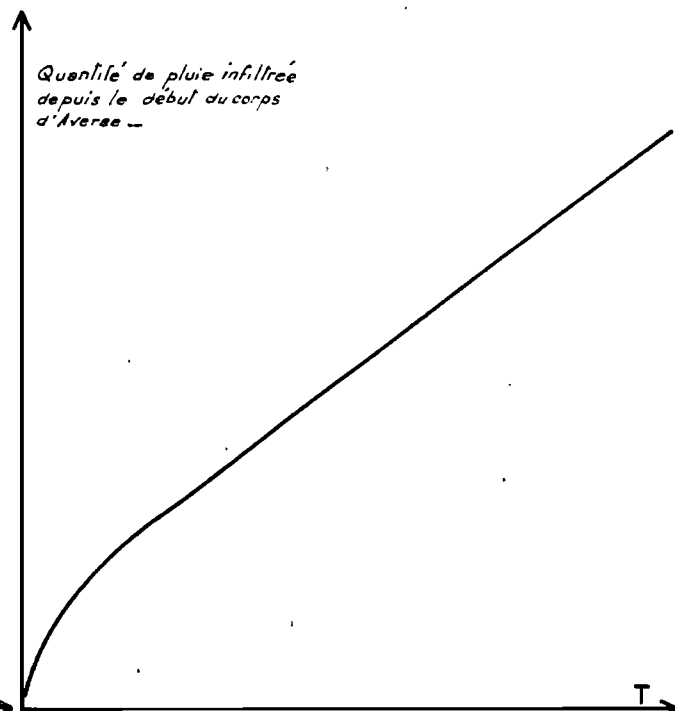
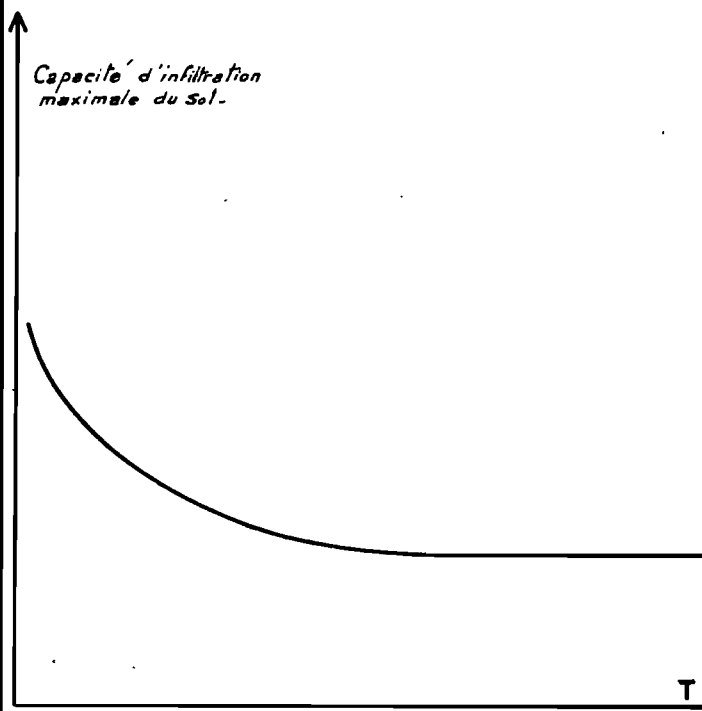
$$C - L = AT + B - EK$$

où T représente la durée du corps d'averse.

Le terme :

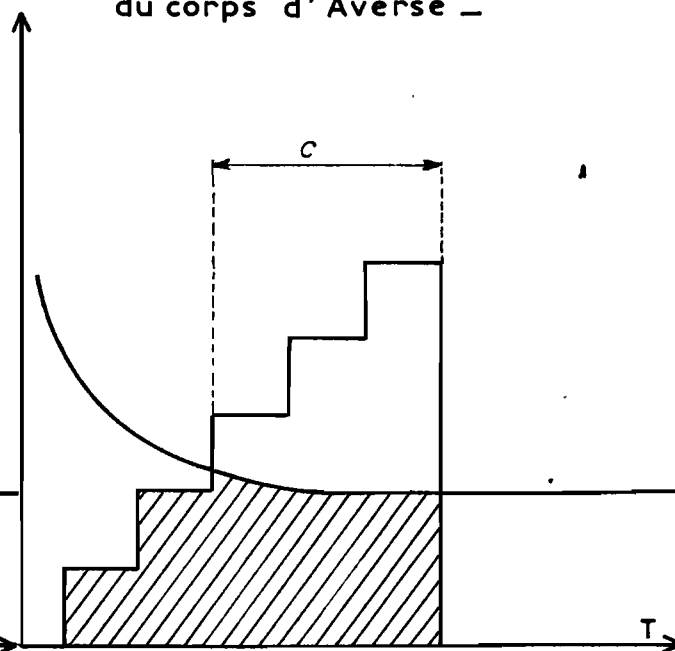
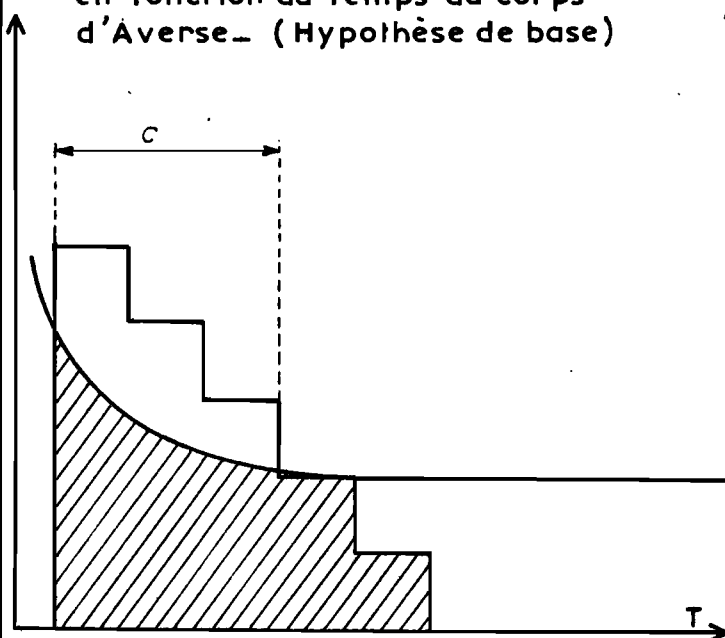
- AT représente la capacité d'infiltration dans les conditions saturation maximales du sol.
- B-EK une quantité d'infiltration supplémentaire qui permet de faire évoluer le sol de l'état où il se trouve au début du corps d'averse, à l'état de saturation.

Aspect de l'infiltration sous une averse d'intensités saturantes



Gr.14_Variation de la capacité d'absorption maximale du sol en fonction du temps du corps d'Averse — (Hypothèse de base)

Gr .15_Quantité de pluie maximale infiltrée en fonction de la durée du corps d'Averse —



Gr. 16.17 Variation de la quantité de pluie infiltrée en fonction de la forme de l'Averse —

Tableau n° 9

B.V.E. d'AMBATOMAINTY

Tableau comparatif des précipitations

par averses

1973 - 1974

N°	Date	P _N	P _S	P _A	P _B	P _D	P _E	NORD		SUD	
								K	Réf	K	Réf
1	7.10	27,0	25,5								
2	6.11	60,6	58,7	60,9	60,4			1,00	M	0,96	M
3	23.11	37,8	35,0	30,4	42,6			0,88	B	1,15	A
4	2.12	22,4	22,3	25,8	20,2			0,97	M	0,97	M
5	3.12	25,2	27,5	23,8	28,0			1,06	A	0,98	B
6	23.12	20,3	17,8	22,8	17,4			0,89	A	1,02	B
7	27.12	24,6	23,2	24,8	23,5			0,99	A	0,98	B
8	28.12	66,5	65,7	77,8	60,2	72,5	59,0	1,00	M	0,99	M
9	29.12	33,2	32,4	30,5	29,5			1,09	A	1,06	A
10	8.01	17,0	16,9	14,8	15,8			1,11	M	1,10	M
11	10.02	21,7	22,0	20,0	18,0			1,08	A	1,10	A
12	16.02	18,7	19,5	17,0	21,8			1,10	A	0,89	B
13	18.02	30,9	28,8	42,1	25,3			0,92	M	0,86	M
14	7.03	22,6	25,8	21,4	26,8			1,06	A	0,96	B
15	10.03	14,8	17,2	14,0	16,9			1,05	A	1,02	B
16	17.03	25,0	24,3	23,0	25,9			0,96	B	1,06	A
17	3.04	29,4	28,3	31,5	28,9			0,93	A	0,98	B
18	4.04	20,1	12,5	3,3	25,5						
19	9.04	30,3	28,5	27,0	28,5			1,11	A	1,00	B
20	19.04	16,1	16,0		15,0			1,06	B	1,06	B

Notations :

P_N, P_S = précipitations moyennes en 24 heures sur les bassins NORD et SUD

P_A, P_B, P_C, P_D = précipitations en 24 heures aux pluviographes A, B, C, D

M = Moyenne entre D et B

Cet état dépend de la quantité de pluie tombée avant le corps d'averse et donc en définitive de la forme de l'averse définie par le coefficient K

$$K = \frac{PI + C1}{PI + C} \quad (\text{voir paragraphe pluviométrie})$$

B est la quantité totale d'eau à fournir pour atteindre l'état de saturation à partir de l'état initial.

Cette quantité d'eau est entièrement absorbée, en plus de la quantité AT, lorsque l'averse se présente dans les conditions les plus défavorables pour le ruissellement, soit lorsque les intensités maximales tombent en premier (dans ce cas $K = 0$).

Résultats obtenus en 1973 - 1974

Parmi les averses précipitées en 1973 - 1974, nous n'avons retenu que les averses dont la lame ruisselée dépasse 1 mm, les ruissellements inférieurs à un millimètre ne concernent en effet qu'une partie trop restreinte du bassin (fortes pentes aux abords du bas fond) pour être représentatifs.

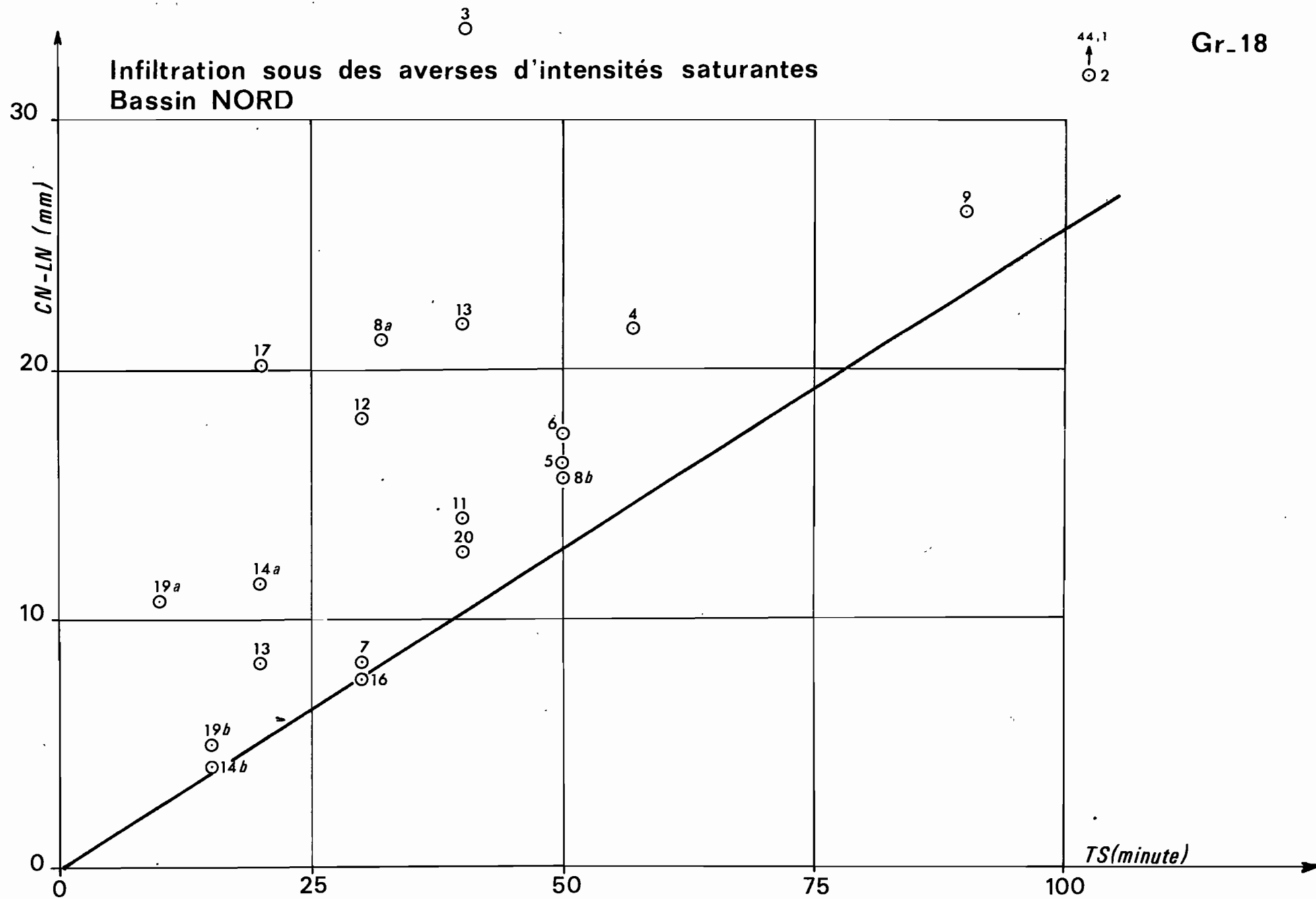
Les corrélations de la quantité infiltrée pendant le corps d'averse $\bar{C} - L$ en fonction du temps du corps d'averse et après correction par le coefficient de forme de la pluie K, selon les mêmes principes qu'en 1972 - 1973, aboutissent aux équations suivantes :

1°/ - Bassin NORD

$$\begin{aligned} - K > 67 \quad C - L &= \frac{1,27}{5} T \\ - K < 67 \quad C - L &= \frac{1,27}{5} T + 13,4 - 0,200 K \end{aligned}$$

2°/ - Bassin SUD

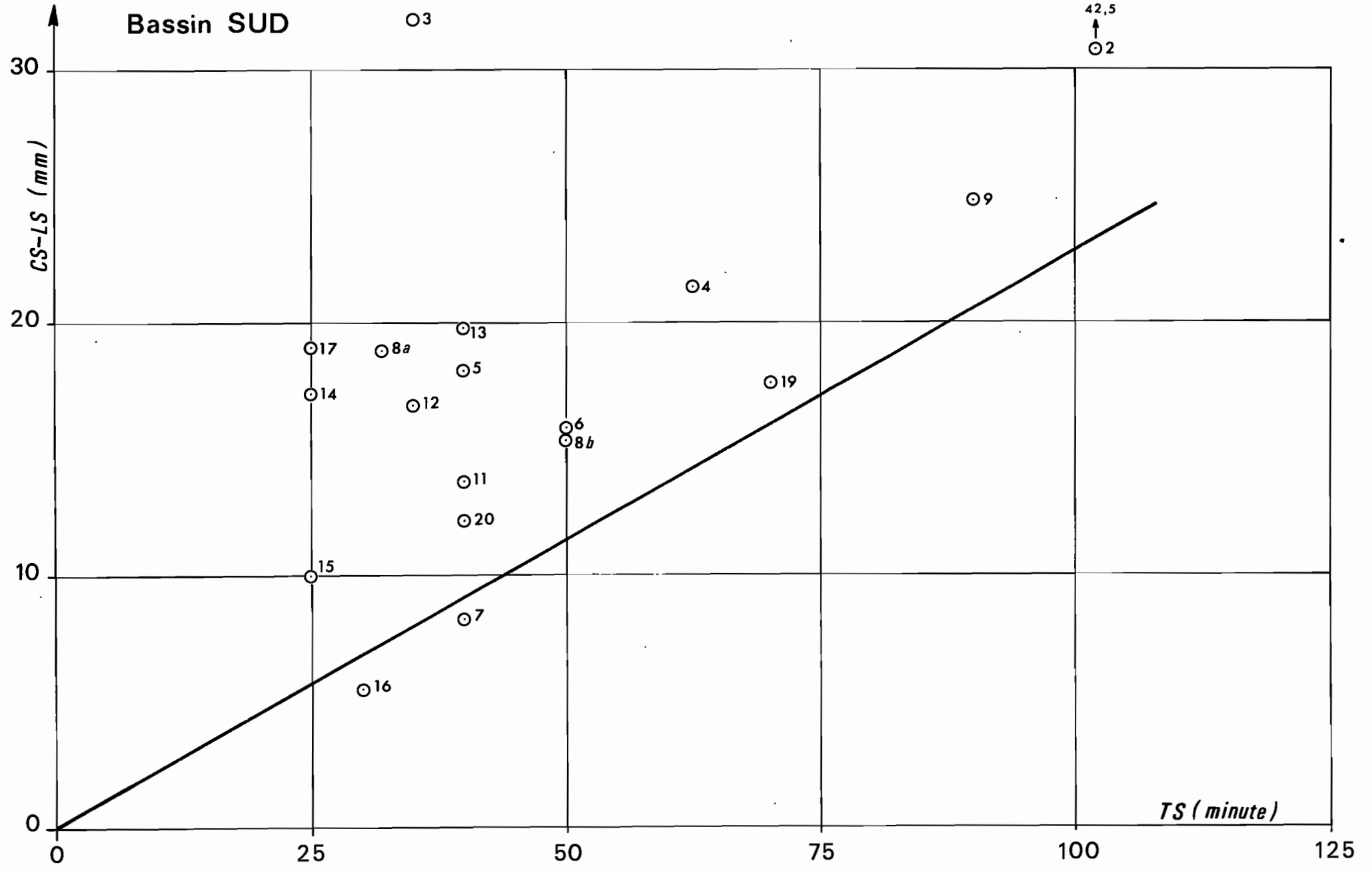
$$\begin{aligned} - K > 65 \quad C - L &= \frac{1,12}{5} T \\ - K < 65 \quad C - L &= \frac{1,12}{5} T + 12,2 - 0,187 K \end{aligned}$$



Infiltration sous des averses d'intensités saturantes

Gr. 19

Bassin SUD



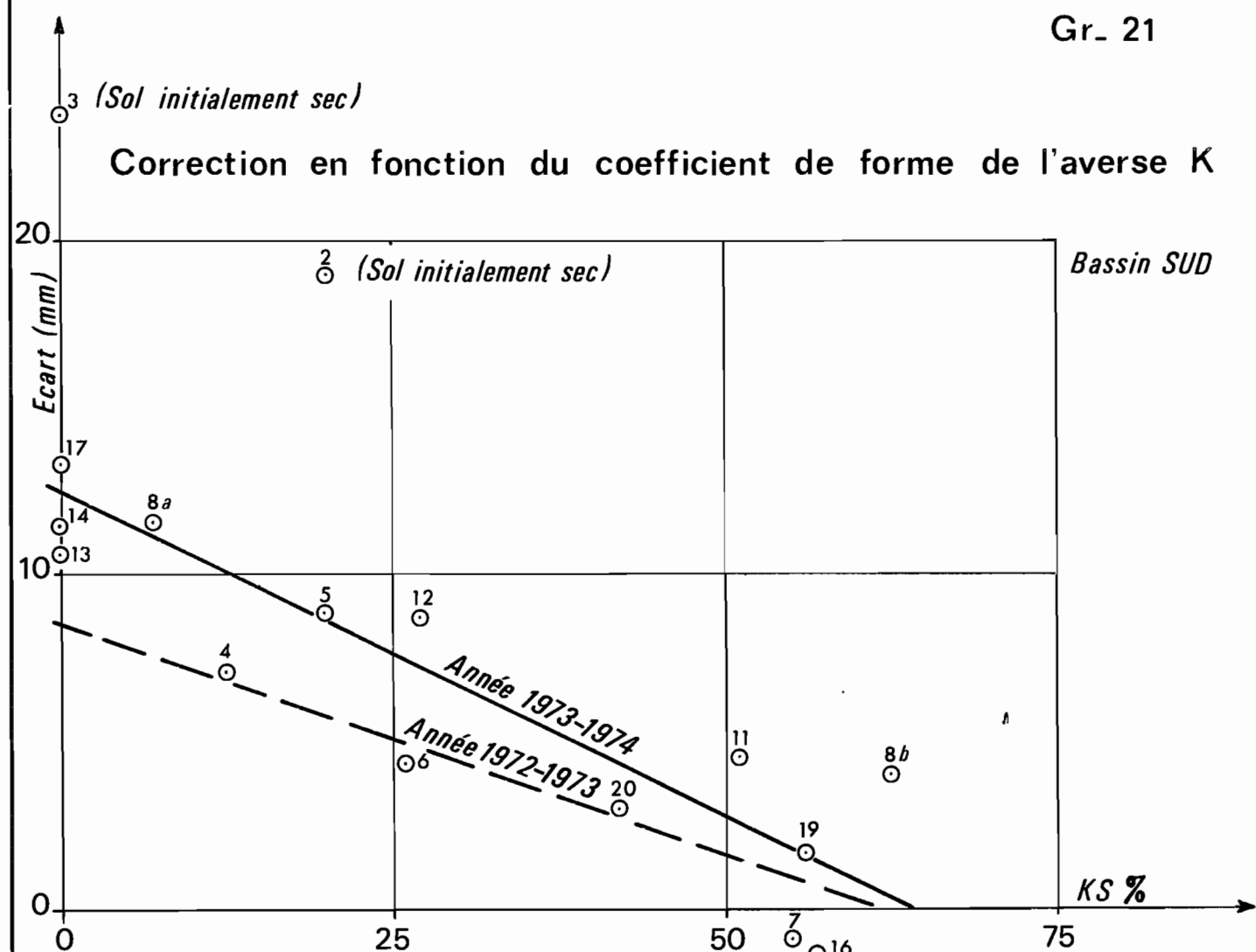
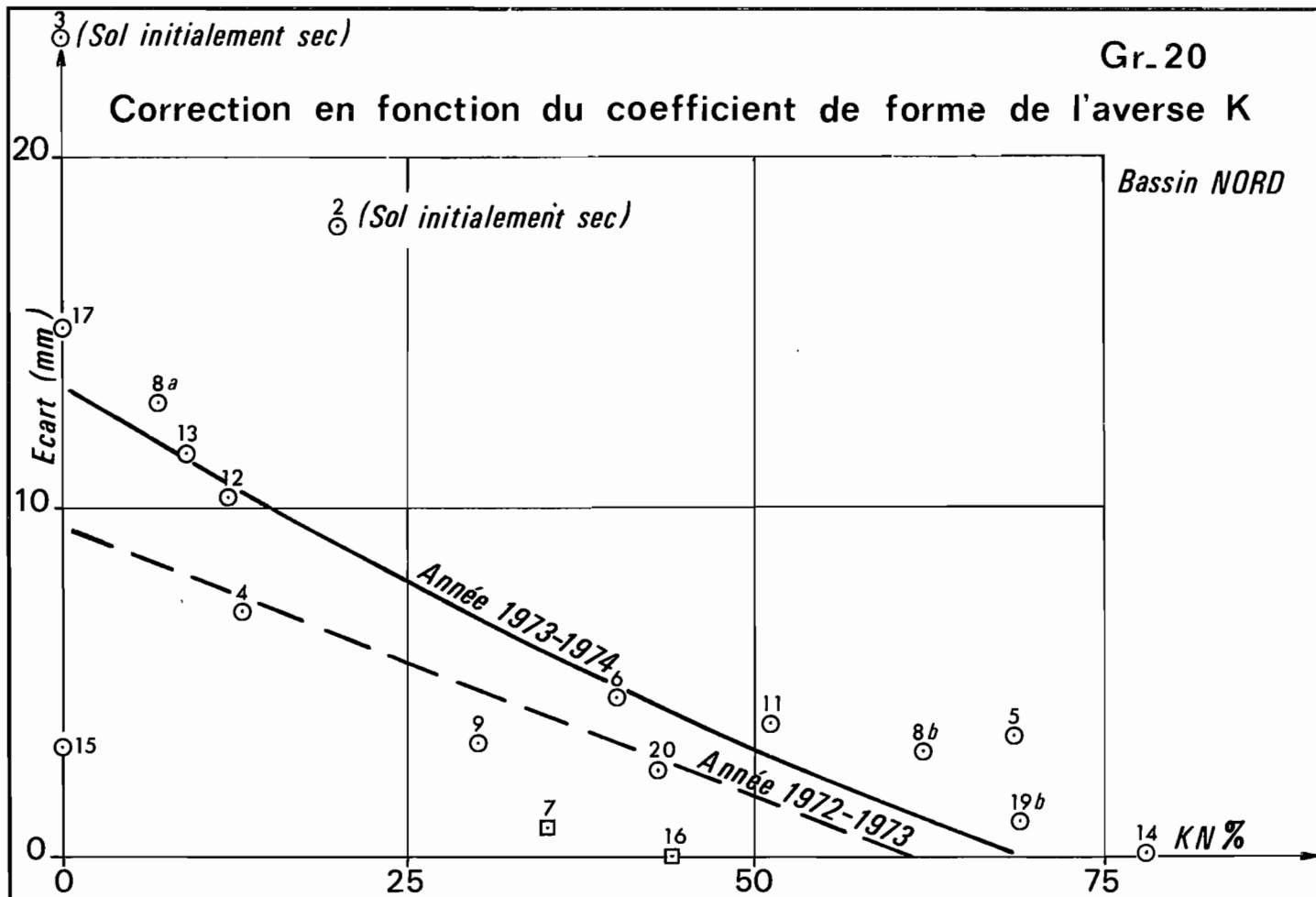


Tableau n° 10

B.V.E. d'ALBATOMAINTY

S U D

Infiltrations sous des intensités saturantes1973 - 1974

N°	Date	C _S	L _S	T _S	C _S - L _S	K _S
1	7.10	-	1,2	-	-	-
2	6.11	45,5	3,0	102	42,5	0,20
3	23.11	34,0	2,0	35	32,0	0,00
4	2.12	22,2	0,8	57	21,4	0,13
5	3.12	20,0	1,9	40	18,1	0,20
6	23.12	16,8	1,0	50	15,8	0,26
7	27.12	9,8	1,6	30	8,2	0,55
8 ^a b	28.12	23,5	4,6	32	18,9	0,07
		24,7	9,4	50	15,3	0,63 *
9	29.12	28,2	3,4	90	24,8	0,30
10	8.01	-	-	-	-	-
11	10.02	15,3	1,6	40	13,7	0,51
12	16.02	18,3	1,6	35	16,7	0,27
13	18.02	24,8	5,0	40	19,8	0,00
14	7.03	19,5	2,3	25	17,2	0,00
15	10.03	11,3	1,3	25	10,0	0,04
16	17.03	6,9	1,5	30	5,4	0,57
17	3.04	24,8	5,8	25	19,0	0,00
18	4.04	-	-	-	-	-
19	9.04	21,5	3,9	70	17,6	0,56
20	19.04	13,2	1,1	40	12,1	0,43

* Assèchement partiel probable.

Tableau n° 11

B.V.E. d'AMBATOUMINTY

N O R D

Infiltrations sous des intensités saturantes1973 - 1974

N°	Date	C _N	L _N	C _N - L _N	T _N	K _N
1	7.10	-	-	-	-	-
2	6.11	47,2	3,1	44,1	102	0,20
3	23.11	35,5	1,9	33,6	40	0,00
4	2.12	22,3	0,7	21,6	57	0,13
5	3.12	17,6	1,4	16,2	50	0,69
6	23.12	18,7	1,3	17,4	50	0,40
7	27.12	9,9	1,7	8,2	30	0,35
8 ^a b	28.12	23,5	2,3	21,2	32	0,07
		24,7	9,1	15,6	50	0,62
9	29.12	29,0	2,7	26,3	90	0,30
10	8.01	-	-	-	-	-
11	10.02	15,2	1,2	14,0	40	0,51
12	16.02	19,0	1,0	18,0	30	0,12
13	18.02	26,5	4,7	21,8	40	0,09
14 ^a b	7.03	12,1	0,7	11,4	20	0,11
		4,3	0,3	4,0	15	0,78
15	10.03	8,9	0,7	8,2	20	0,00
16	17.03	8,6	1,1	7,5	30	0,44
17	3.04	23,2	3,0	20,2	20	0,00
18	4.04	-	-	-	-	-
19 ^a b	9.04	11,1	0,4	10,7	10	0,05
		7,8	2,9	4,9	15	0,69
20	19.04	13,2	0,6	12,6	40	0,43

Evolution de ces modèles par rapport à 1972 - 1973

On constate que le premier coefficient du terme en T qui représente l'intensité d'infiltration dans les conditions de saturation maximales n'a pas évolué par rapport à l'année précédente.

Par contre, la valeur B de la quantité d'eau à fournir en début de pluie est de 13,4 mm sur le bassin NORD et de 12 mm sur le bassin SUD contre 9,2 et 8,5 en 1972 - 1973.

Il semblerait que l'infiltration pendant la séquence des averses dont l'intensité est saturante ait légèrement augmenté et plus particulièrement pour les averses brutales (coefficient de forme K nul ou faible).

Nos modèles ne sont pas très précis, et il est possible que cette évolution soit liée à la teneur de l'échantillon des crues fournies en 1972 - 1973, échantillon malheureusement insuffisant pour être vraiment représentatif.

Nous ne pensons cependant pas nous tromper en concluant que l'effet du feu sur les bassins versants d'AMBATOMAINTY n'a pas apporté d'augmentation mesurable du ruissellement.

Ce résultat est en contradiction avec certains résultats obtenus sur parcelles de ruissellement qui concluent à une augmentation du ruissellement après brûlis. Cette contradiction n'est peut être qu'apparente et il est certainement très difficile de généraliser des résultats obtenus dans des conditions particulières de texture des sols et de climat.

Les bassins versants d'AMBATOMAINTY sont en effet situés en climat humide avec une saison sèche peu accentuée et les sols conservent en surface une assez bonne structure, même en fin de saison sèche, et cette caractéristique leur permet peut-être de résister à l'effet de colmatage des pores superficiels du sol signalé par certains auteurs, dû au "splash" des gouttes de pluies sur sol nu.

Il faut souligner, d'autre part, que presque toutes les parcelles de ruissellement sont installées sur pentes faibles, et que celles-ci donnent l'image d'un processus de ruissellement produit dans des conditions très particulières.

3.3.7. - Mesures sur parcelle de ruissellement (200 m²)

Nous avons essayé d'appliquer notre modèle sur la parcelle de ruissellement témoin PO 2 du C.T.F.T.

Comme toutes les autres parcelles, cette parcelle a été brûlée avant la saison des pluies 1972. Elle a été laissée en défens cette année.

Ces parcelles sont installées sur des pentes d'environ 10 %. Nous présentons ici les résultats obtenus en 1972 - 1973, les résultats de cette année ne nous étant pas parvenus. Le pluviographe mis en corrélation avec les ruissellements obtenus sur cette parcelle est le pluviographe C, pluviographe du C.T.F.T. situé à proximité.

Le premier essai effectué avec une valeur du seuil prise égale à 1 mm en 5 minutes n'était pas très satisfaisant. Il donnait une pente de la droite principale de corrélation de 1,82 millimètres en 5 minutes.

Le deuxième essai avec une délimitation des corps d'averse par un seuil fixé à 1,5 mm en 5 minutes, fait l'objet des graphiques 22.

Sauf pour les deux premières pluies de l'année qui ruissellent sur des sols initialement très secs, la corrélation est assez satisfaisante et peut s'exprimer sous la forme :

$$C - L = \frac{2,14}{5} T \quad \text{si } K \text{ est } > 45$$

$$C - L = \frac{2,14}{5} T + 8,0 - 0,178 K \quad \text{si } K \text{ est } < 45$$

Ces résultats permettent les observations suivantes :

- La valeur de la pente de la droite principale de corrélation est bien supérieure à la valeur de la pente moyenne obtenue sur les bassins. Comme

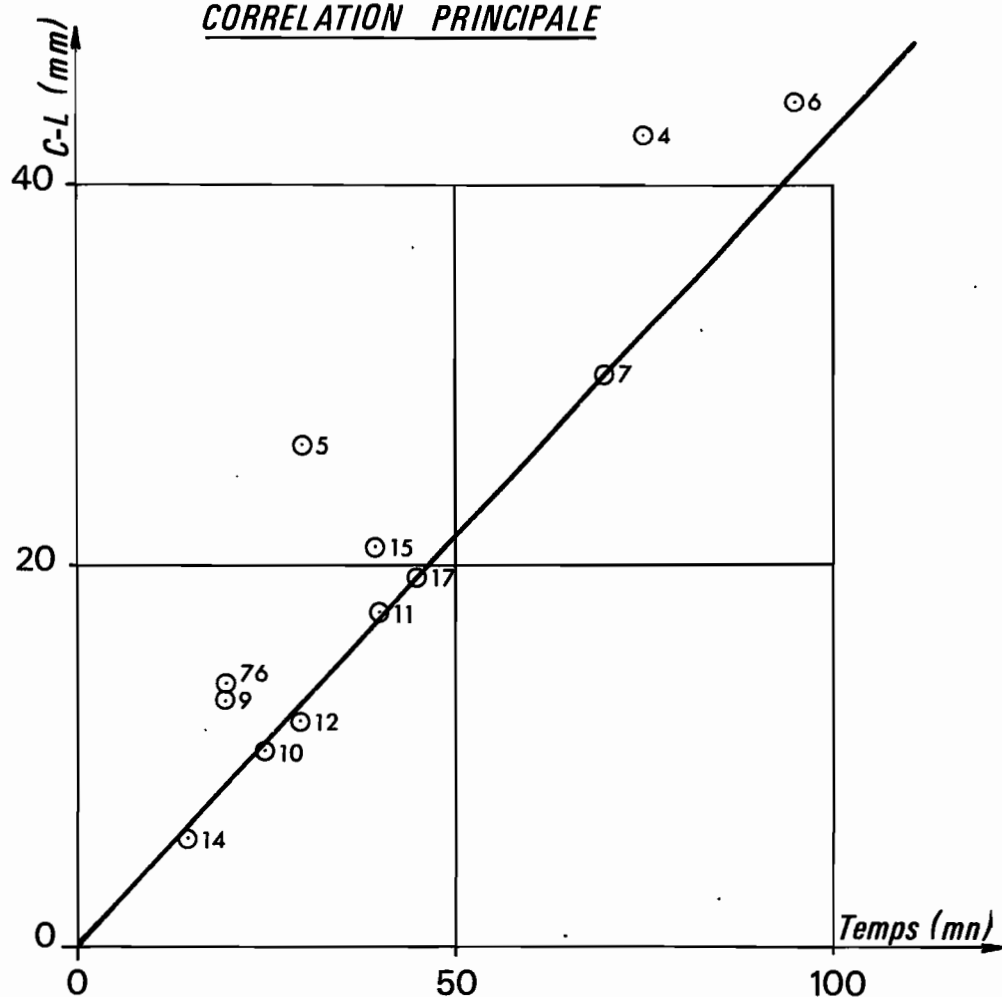
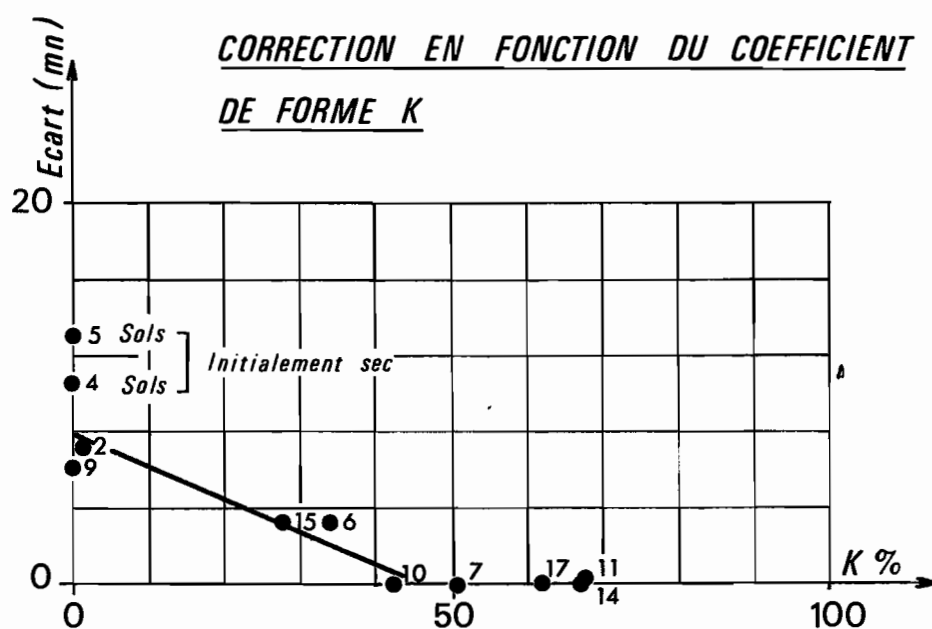
Tableau n° 12

B.V.E. d'AMBATOMAINTY
Infiltrations sous des intensités saturantes
1972 - 1973

C > 1,5 mm/5 min.

Parcelle P02

N°	Date	C	L	C - L	T	K
4	14.12	42,5	0,08	42,4	75	0,06
5	15.12	27,0	0,24	26,8	30	0,00
	18.12	12,5	0,09	12,4	15	0,40
6	19.12	74,5	29,75	44,7	95	0,34
		(C2 + C3)			(T2 + T3)	
7	20.12	38,0	8,92	30,1	70	(0,50)
	23.12	14,0	0,17	13,8	20	0,00
9	7.01	14,5	0,19	14,3	20	0,00
10	14.01	10,5	0,11	10,4	25	0,42
		(C1 + C2)			(T1 + T2)	
11	15.01	18,0	0,15	17,8	40	0,68
	6.02	12,0	0,10	11,9	30	0,14
	26.02	6,0	0,08	5,9	15	0,67
	3.03	22,5	1,08	21,4	40	0,27
17	5.03	21,0	1,86	19,1	45	0,62
	10.03	17,5	0,30	17,2	20	0,50

PARCELLE TEMOIN PO₂CORRELATION PRINCIPALECORRECTION EN FONCTION DU COEFFICIENT
DE FORME K

la pente moyenne des versants du bassin est supérieure à celle de la parcelle, on pourrait imaginer que la valeur de la pente de la droite de corrélation principale est influencée par la pente du sol. Cette hypothèse qui suppose que les sols de la parcelle ont des caractéristiques intrinsèques proches de celles des sols qui constituent les versants des bassins devrait être vérifiée en multipliant les essais ponctuels.

- Cet essai présente en outre l'intérêt de mettre en évidence le rôle joué par le choix du seuil d'intensité choisi à priori pour isoler les corps d'averse, seuil que nous appellerons "seuil d'écrêtement" pour le différencier de la pente de la droite de corrélation principale que nous appellerons "seuil d'infiltration minimale".

En effet, la pente de cette droite varie, pour un même matériau, avec la valeur du seuil d'écrêtement. Elle varie de 1,82 millimètres en 5 minutes à 2,14 millimètres en 5 minutes lorsque le seuil d'écrêtement passe de 1 mm par 5 minutes à 1,5 mm/5 min.

Cette remarque permet de souligner le fait que la méthode employée est itérative et que la corrélation définitive doit correspondre à une valeur du seuil d'écrêtement approximativement égale à la valeur du seuil d'infiltration minimale (à 0,5 millimètre près).

Il est possible que la valeur du seuil d'écrêtement retenue pour les bassins, de 1 mm en 5 minutes, soit trop faible.

Ces corrélations devraient être améliorées grâce au traitement mécanographique qui permet de simuler le ruissellement pas à pas et d'éviter l'emploi de paramètres globaux tels que le coefficient de forme de l'averse K utilisé, ici, faute de mieux, au stade préliminaire du traitement manuel.

CHAPITRE IV

TRANSPORTS SOLIDES ET QUALITE DES EAUX

4.1. - Transports solides en suspension

L'estimation des transports solides en suspension est effectuée à partir des prélèvements d'eau de 3,6 l effectués pendant les crues à chaque variation de 5 cm à l'échelle du niveau de l'eau. Le nombre d'échantillons effectués pour chaque crue varie avec l'importance de la crue de 5 à 6 prélèvements à une vingtaine.

Les concentrations de ces prélèvements sont obtenues par décantation, siphonnage et séchage à l'étuve du résidu sec.

Ces mesures permettent de tracer pour chaque crue la courbe des transports solides en fonction du temps et le planimétrage de chaque courbe détermine la charge solide du chaque crue.

Ces résultats figurent dans le tableau 13.

La plus forte crue de l'année du 28 Décembre 1973 n'a pas fait l'objet de prélèvements sur le bassin versant NORD en raison du congé de fin d'année d'une partie des observateurs. La valeur fournie dans le tableau est estimée et a pour but de préciser les transports solides évacués au cours de la saison.

4.1.1. - Evolution des transports solides sur le bassin SUD

Le graphique n° 23 sur lequel nous avons reporté la quantité de terre sèche évacuée par chaque crue en fonction de son volume ruisselé, montre que les transports solides sont beaucoup plus forts au début de l'année immédiatement après le brûlis qui a eu lieu le 3 Novembre.

Les points 2, 3, 4, 5 sont en effet en position haute par rapport aux autres points de la campagne.

En fin de saison on a une tendance au retour à la courbe de l'année précédente.

Tableau n° 13

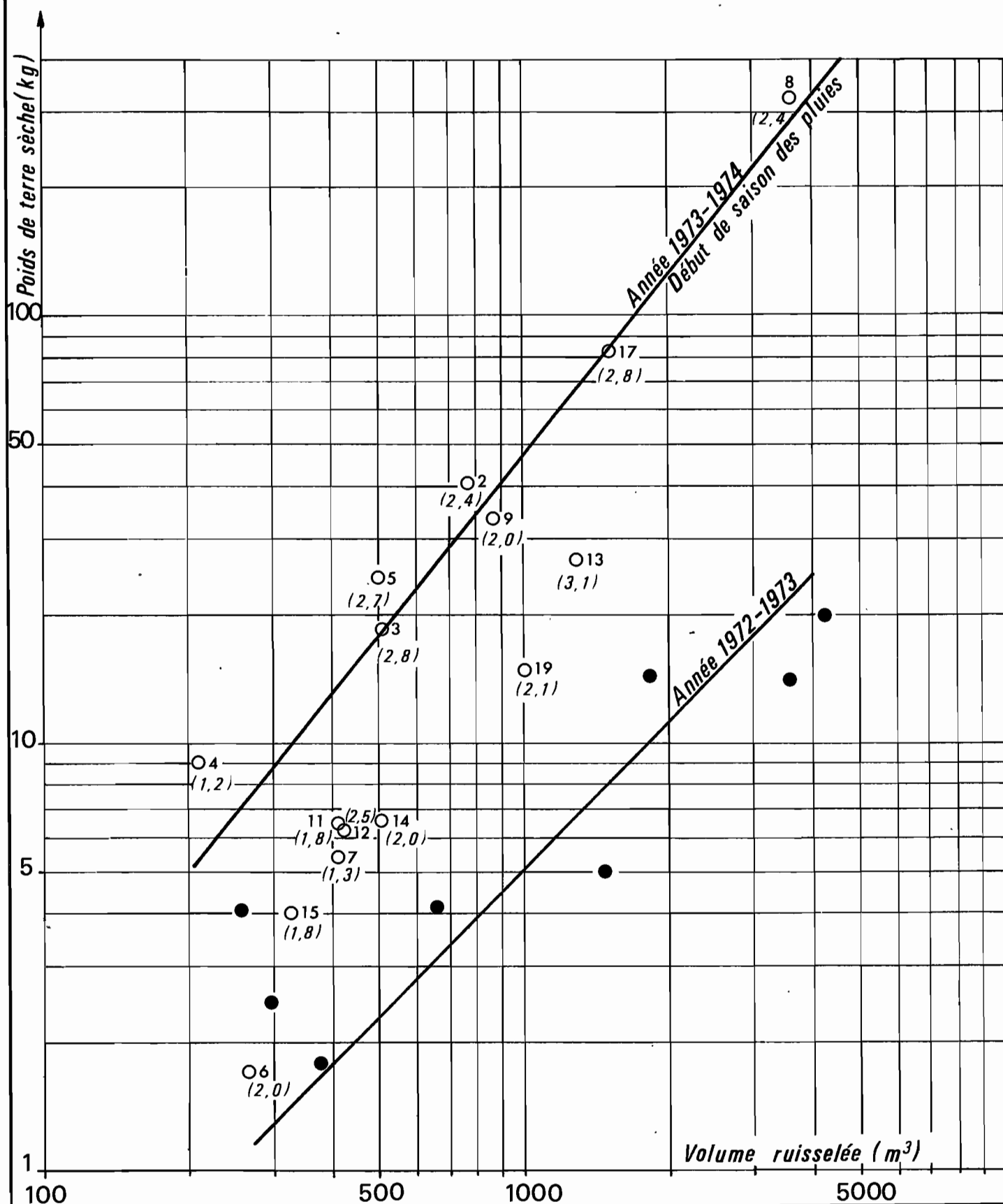
B.V.E. d'AMBATOMALINTY

Transports solides en suspension

1973 - 1974

N°	DATE	B.V. NORD			B.V. SUD			NORD	SUD
		V liquide (m ³)	Q max liquide (m ³ /s)	P Solide (Kg)	V liquide (m ³)	Q max liquide (m ³ /s)	F Solide (kg)	Concentra- tion g/m ³ moyennes	Concentra- tion g/m ³ moyennes
2	6.11.73	907	0,239	106,2	770	0,188	40,9	117	53
3	23.11.73	536	0,157	37,9	508	0,141	18,8	71	37
	24.11.73			0,02			0,3		
	28.11.73	166	0,012	1,4		0,008	0,1		
4	2.12.73	199	0,039	35,5	211	0,026	9,1	178	43
5	3.12.73	419	0,093	52,4	504	0,137	24,3	125	48
	5.12.73		0,026	4,7		0,010	0,5		
	20.12.73		0,015	11,0		0,009	1,4		
	21.12.73		0,018	2,5			0,5		
6	23.12.73	386	0,075	28,4	264	0,054	1,7	73	
	25.12.73		0,012	2,0		0,013	3,0		
7	27.12.73	482	0,057	(50,0)	410	0,053	5,4	n. observé	13
8	28.12.73	3290	1,110	(600,0)	3636	0,870	302,4	n. observé	83
9	29.12.73	803	0,176	(50,1)	874	0,176	28,3	n. observé	32
	5.01.74		0,040	31,2		0,040	(33,7)		
	7.01.74		0,020			0,029	17,8		
10	8.01.74	199	0,037	34,5	178	0,028	0,5	173	3
	5.02.74	997	0,056	100,0	1385	0,071	7,7	100	5
	6.02.74						3,2		
11	10.02.74	338	0,104	55,7	416	0,095	6,4	165	15
12	16.02.74	294	0,098	109,8	422	0,104	6,1	373	14
	17.02.74		0,035	14,2	425	0,035	0,6		1
13	18.02.74	1370	0,490	439,2	1289	0,400	26,8	320	21
14	7.03.74	292	0,054	39,7	508	0,104	6,6	136	12
15	10.03.74	203	0,037	16,8	326	0,060	4,0	83	12
16	17.03.74	311	0,042	(100)	385	0,046	15,0	32	39
17	3.04.74	881	0,400	393,6	1517	0,420	83,0	447	55
19	9.04.74	948	0,282	283,2	1013	0,210	14,8	299	15
Total annuel				2600				662,9	
Total annuel par ha				90				25	

Transports solides en suspension (Bassin SUD)



Le poids total de terre sèche évacué par transports en suspension est cette année de 663 Kg contre 164 Kg en 1972 - 1973 ou si l'on préfère de 25 Kg de terre par ha et par an, contre 6 Kg en 1972 - 1973.

Ainsi le poids de terre sèche évacué par suspension après le brûlis est quatre fois supérieur au résultat de l'année 1972 - 1973 avant brûlis.

4.1.2. - Evolution des transports solides en suspension sur le bassin NORD

L'examen du tableau 13 montre que les transports en suspension évacués par les crues augmentent tout au long de l'année et plus particulièrement à partir de la deuxième quinzaine du mois de Décembre, date qui coïncide avec le début des travaux de terrassement pour l'aménagement des rizières. Le chiffre annuel obtenu de 90 Kg par an et par hectare, représente l'effet de ces travaux effectués au cours de la saison des pluies.

Ce chiffre n'est pas très représentatif car il n'est pas d'un usage courant d'aménager une rizière en pleine saison des pluies.

La terre évacuée provient pour l'essentiel des deux hectares et demi de bas fond aménagés et l'érosion sur cette partie a été d'environ 1 tonne à l'ha pendant cette année.

4.2. - Transports par charriage de fond

Les transports solides par charriage de fond restent faible et sont constitués pour moitié du volume, d'éléments de vase organique fortement hydrophile, déposés entre les crues et qui ne représentent plus que 10 % du poids de terre total après séchage.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Date de Prélèvement	Bassin Versant NORD (Kg)	Bassin Versant SUD (Kg)
3.11.1973	2,27	1,83
4.01.1974	7,69	
19.01.1974		1,22
12.02.1974	7,17	
19.02.1974		1,24
21.02.1974	3,88	
14.03.1974	3,76	0,70
18.04.1974		1,08
25.05.1974	5,60	
11.06.1974		1,03
3.09.1974	4,84	0,86
T O T A L	35,2	7,96

Les résultats sont, pour le bassin témoin, assez voisins de ceux obtenus au cours de la campagne précédente, et cinq fois supérieurs sur le bassin en cours d'aménagement.

Les charriages de fond restent négligeables par rapport aux transports solides en suspension.

4.3. - Qualité des eaux

Les nombreuses analyses chimiques effectuées cette année, dont les résultats font l'objet du tableau 14, montrent que la teneur en sels dissous dans les eaux d'écoulement reste très faible, sauf pour les crues du 6 Novembre et du 23 Novembre qui ont immédiatement succédé au brûlis.

La comparaison des résultats obtenus sur les bassins NORD et SUD ne fait pas apparaître sur le bassin NORD d'enrichissement en éléments dissous dû à un lessivage de la fumure de fond.

En particulier, la teneur en P2 O5 reste à l'état de trace.

Ce résultat correspond à notre attente. Il prouve que le travail du sol effectué sur les parcelles destinées aux cultures vivrières a pratiquement stoppé le ruissellement sur ces parcelles.

Tableau n° 14

B.V.E. d'AMBATO MAINTY
Résultats des analyses chimiques
 (en milligrammes par litre)
1973 - 1974

Date	Heure	Cote	Crue Décrue	Bassin	n° Bomb.	Na meq/l	K meq/l	Ca meq/l	Mg meq/l	P 2 05 mg/l
30.03.73	8 h 50	0,094	B	NORD	97	0,06	0,01	0,01	0,03	0,24
30.03.73	9 h 15	0,084	B	SUD	28	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03
25.05.73	7 h 20	0,055	B	NORD	48	0,02	0,01	0,01	0,04	0,01
6.11.73	15 h 15	0,20	C	NORD	7	0,08	0,32	0,05	0,04	0,38
"	15 h 33	0,375	MAX	NORD	13	0,09	(0,39)	0,05	0,06	0,03
"	16 h 54	0,20	D	NORD	30	0,08	0,30	0,04	0,04	0,01
6.11.73	15 h 08	0,20	C	SUD	19	0,17	0,08	0,07	0,08	0,30
"	15 h 45	0,34	MAX	SUD	25	0,11	0,49	0,34	0,28	0,02
"	17 h 49	0,14	D	SUD	37	0,07	0,31	0,04	0,06	0,01
23.11.73	15 h 15	0,20	C	NORD	47	0,01	0,08	0,02	0,02	0,01
"	15 h 26	0,305	MAX	NORD	11	0,04	0,10	0,01	0,03	0,02
"	16 h 09	0,20	D	NORD	55	0,04	0,10	0,02	0,03	0,04
"	18 h 16	0,10	D	NORD	53	0,05	0,08	0,02	0,06	0,02
23.11.73	15 h 00	0,135	C	SUD	63	0,04	0,08	0,02	0,04	0,01
"	15 h 11	0,20	C	SUD	68	0,05	0,10	0,02	0,05	0,01
"	15 h 32	0,295	MAX	SUD	72	0,04	0,12	0,02	0,07	0,03
"	18 h 40	0,095	D	SUD	75	0,04	0,09	0,02	0,05	0,01
28.11.73	20 h 21	0,08	B	NORD	44	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01
28.11.73	20 h 20	0,062	B	SUD	16	0,04	0,04	0,03	0,03	0,06
2.12.73	16 h 25	0,147	MAX	NORD	4	0,04	0,06	0,02	0,03	0,01
2.12.73	16 h 05	0,12	MAX	SUD	41	0,04	0,05	0,02	0,05	0,06
3.12.73	0 h 15	0,20	C	NORD	62	0,03	0,05	0,01	0,06	0,01
"	0 h 36	0,235	MAX	NORD	10	0,03	0,04	0,01	0,02	0,01
3.12.73	0 h 03	0,20	C	SUD	84	0,04	0,05	0,01	0,06	0,02
"	0 h 16	0,29	MAX	SUD	88	0,04	0,05	0,01	0,03	0,02

C = en crue

D = en décrue

M = maximum

m = minimum

B = débit de base

Tableau n° 14 (suite)

Date	Heure	Cote	Crue Décrue	Bassin	n° Bomb.	Na meq/l	K meq/l	Ca meq/l	Mg meq/l	P ₂ O ₅ mg/l
4.12.73	3 h 00	0,09	D	SUD	93	0,07	0,04	0,01	0,27	0,01
5.12.73	14 h 53	0,12	B	NORD	78	0,04	0,04	0,02	0,03	0,05
5.12.73	14 h 55	0,07	B	SUD	14	0,03	0,03	0,02	0,02	0,33
20.12.73	21 h 28	0,092	B	NORD	82	0,04	0,03	0,01	0,02	0,01
20.12.73	20 h 52	0,065	B	SUD	6	0,04	0,02	0,03	0,04	0,02
21.12.73	21 h 34	0,06	B	NORD	70	0,04	0,02	0,01	0,02	0,01
21.12.73	21 h 22	0,055	B	SUD	9	0,04	0,02	0,02	0,03	0,01
23.12.73	18 h 49	0,20	C	NORD	57	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02
"	19 h 17	0,21	MAX	NORD	35	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02
23.12.73	19 h 38	0,172	MAX	SUD	42	0,04	0,03	0,03	0,05	0,02
"	20 h 53	0,10	D	SUD	49	0,03	0,02	0,01	0,05	0,07
25.12.73	23 h 30	0,083	B	NORD	74	0,03	0,02	0,01	0,03	0,01
25.12.73	23 h 47	0,08	B	SUD	60	0,03	0,01	0,02	0,04	0,01
27.12.73	22 h 00	0,175	MAX	SUD	66	0,03	0,02	0,02	0,03	0,19
"	0 h 00	0,10	D	SUD	90	0,02	0,02	0,01	0,03	0,005
29.12.73	18 h 15	0,49	MAX	SUD	3	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02
"	18 h 35	0,39	D	SUD	17	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01
"	19 h 00	0,29	D	SUD	29	0,04	0,01	0,01	0,04	0,02
"	19 h 25	0,19	D	SUD	52	0,02	0,02	0,26	0,34	0,04
"	22 h 35	0,60	C	SUD	94	0,02	0,02	0,01	0,04	0,02
"	22 h 55	0,70	MAX	SUD	101	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01
"	23 h 30	0,60	D	SUD	76	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01
30.12.73	19 h 20	0,20	C	SUD	22	0,02	0,01	0,01	0,04	0,01
"	19 h 40	0,30	C	SUD	48	0,02	0,01	0,01	0,04	0,01
"	19 h 55	0,33	MAX	SUD	77	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01
"	21 h 00	0,23	D	SUD	69	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02
"	22 h 30	0,13	D	SUD	91	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01
5.01.74	15 h 22	0,122	MAX	NORD	120	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01
"	20 h 26	0,125	MAX	NORD	122	0,04	0,01	0,01	0,04	0,01
"	23 h 42	0,151	MAX	NORD	123	0,03	0,01	0,01	0,05	0,01
"	22 h 55	0,15	C	SUD	74	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01
7.01.74	16 h 00	0,13	MAX	SUD	75	0,02	0,05	0,01	0,03	0,01
8.01.74	2 h 50	0,145	MAX	NORD	83	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01
8.01.74	2 h 30	0,105	C	SUD	76	0,02	0,005	0,02	0,04	0,01

Date	Heure	Cote	Crue Décrue	Bassin	n° Bomb.	Na meq/l	K meq/l	Ca meq/l	Mg meq/l	P ₂ O ₅ mg/l
4.02.74	7 h 18	0,052	B	NORD	84	0,04	0,02	0,02	0,04	0,01
4.02.74	8 h 53	0,042	B	SUD	78	0,03	0,01	0,03	0,04	0,01
5.02.74	16 h 37	0,135	MAX	NORD	85	0,04	0,01	0,01	0,04	0,02
"	20 h 40	0,182	MAX	NORD	86	0,03	0,02	0,01	0,4	0,03
"	0 h 55	0,180	MAX	NORD	90					
5.02.74	16 h 20	0,13	MAX	SUD	77	0,03	0,01	0,02	0,05	0,01
"	21 h 08	0,20	MAX	SUD	79	0,02	0,01	0,02	0,07	0,01
"	1 h 02	0,17	MAX	SUD	80	0,02	0,01	0,02	0,04	0,01
10.02.74	18 h 48	0,20	C	NORD	92	0,02	0,02	0,005	0,04	0,02
"	19 h 05	0,242	MAX	NORD	93	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
10.02.74	19 h 00	0,20	C	SUD	89	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01
"	19 h 25	0,24	MAX	SUD	90	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01
11.02.74	8 h 40	0,080	B	NORD	95	0,03	0,01	0,01	0,02	0,005
11.02.74	8 h 58	0,070	B	SUD	93	0,02	0,005	0,02	0,04	0,01
16.02.74	15 h 51	0,20	C	NORD	99	0,02	0,02	0,005	0,03	0,02
"	16 h 03	0,235	MAX	NORD	100	0,02	0,02	0,005	0,05	0,04
16.02.74	16 h 20	0,25	C	SUD	98	0,02	0,01	0,02	0,04	0,01
17.02.74	17 h 10	0,138	C	NORD	73	0,03	0,02	0,01	0,04	0,01
17.02.74	17 h 07	0,14	MAX	SUD	46	0,17	0,01	0,04	0,05	0,01
18.02.74	9 h 40	0,075	B	NORD	74	0,03	0,01	0,02	0,04	0,01
18.02.74	8 h 59	0,067	B	SUD	7	0,44	0,02	0,08	0,15	0,02
18.02.74	13 h 17	0,25	C	NORD	72	0,01	0,02	0,01	0,03	0,04
"	13 h 30	0,45	C	NORD	77	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03
"	13 h 43	0,525	MAX	NORD	78	0,01	0,02	0,01	0,05	0,03
"	14 h 10	0,325	D	NORD	80	0,02	0,03	0,02	0,05	0,01
"	16 h 30	0,125	D	NORD	62	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01
18.02.74	13 h 20	0,20	C	SUD	32	0,01	0,005	0,01	0,03	0,01
"	13 h 37	0,40	C	SUD	35	0,01	0,01	0,01	0,04	0,03
"	13 h 57	0,49	MAX	SUD	37	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01
"	15 h 17	0,19	D	SUD	45	0,04	0,01	0,02	0,04	0,01
25.02.74	10 h 40	0,065	B	NORD	63	0,03	0,02	0,02	0,04	0,01
25.02.74	9 h 57	0,053	B	SUD	100	0,10	0,04	0,20	0,19	0,01
7.03.74	13 h 00	0,179	MAX	NORD	46	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02

Tableau n° 14 (suite et fin)

Date	Heure	Cote	Crue Décrue	Bassin	n° Bomb.	Na meq/l	K meq/l	Ca meq/l	Mg meq/l	P 2 05 mg/l
7.03.74	13 h 02	0,25	MAX	SUD	22	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01
"	13 h 05	0,25	MAX	SUD	31	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02
10.03.74	16 h 20	0,145	MAX	NORD	48	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02
10.03.74	16 h 38	0,189	MAX	SUD	49	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02
11.03.74	8 h 30	0,072	B	NORD	50	0,04	0,02	0,03	0,04	0,01
11.03.74	8 h 23	0,066	B	SUD	60	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01
17.03.74	22 h 55	0,132	C	NORD	53	0,03	0,02	0,02	0,03	0,01
17.03.74	24 h 00	0,16	MAX	SUD	51	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02
18.03.74	7 h 15	0,078	B	NORD	55	0,04	0,03	0,03	0,04	0,01
18.03.74	8 h 52	0,070	B	SUD	53	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01
25.03.74	7 h 10	0,062	B	NORD	57	0,04	0,02	0,03	0,03	0,01
25.03.74	8 h 53	0,056	B	SUD	55	0,02	0,01	0,02	0,04	0,01
1.04.74	7 h 10	0,063	B	NORD	59	0,04	0,03	0,01	0,05	0,01
1.04.74	8 h 02	0,049	B	SUD	58	0,03	0,01	0,01	0,05	0,01
3.04.74	17 h 50	0,25	C	NORD	65	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01
"	17 h 56	0,45	MAX	NORD	69	0,02	0,03	0,01	0,05	0,02
"	18 h 30	0,279	D	NORD	141	0,03	0,05	0,01	0,04	0,03
3.04.74	17 h 36	0,25	C	SUD	2	0,01	0,02	0,01	0,02	0,05
"	17 h 56	0,45	C	SUD	10	0,01	0,02	0,01	0,04	0,01
"	18 h 10	0,52	MAX	SUD	9	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01
"	18 h 55	0,32	D	SUD	7	0,01	0,01	0,01	0,04	0,02
"	20 h 49	0,12	D	SUD	18	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01
4.04.74	7 h 10	0,073	C	NORD	146	0,04	0,04	0,01	0,05	0,01
"	14 h 00	0,272	MAX	NORD	150	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03
"	14 h 08	0,285	MAX	NORD	158	0,02	0,03	0,01	0,04	0,03
4.04.74	14 h 20	0,25	C	SUD	13	0,02	0,01	0,01	0,05	0,01
"	14 h 55	0,27	MAX	SUD	29	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01
8.04.74	7 h 12	0,068	B	NORD	16	0,03	0,04	0,01	0,08	0,02
"	8 h 38	0,060	B	SUD	80	0,02	0,02	0,01	0,06	0,01
9.04.74	17 h 49	0,149	C	NORD	149	0,02	0,02	0,01	0,05	0,04
"	19 h 08	0,35	C	NORD	154	0,02	0,03	0,01	0,05	0,03
"	19 h 20	0,408	MAX	NORD	115	0,02	0,03	0,01	0,03	0,03
9.04.74	19 h 18	0,31	C	SUD	64	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01
"	19 h 40	0,36	MAX	SUD	68	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01
"	21 h 30	0,16	D	SUD	71	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01
15.04.74	7 h 00	0,063	B	NORD	132	0,03	0,03	0,01	0,05	0,04
15.04.74	7 h 45	0,053	B	SUD	13	0,03	0,02	0,01	0,04	0,01

CHAPITRE V

MESURES D'HUMIDITE AU MOYEN D'UNE SONDE A NEUTRONS

Résultats de l'année 1972 - 1973

5.1. - INTRODUCTION - Critique des mesures

Les mesures d'humidité des sols au moyen d'une sonde à neutrons constituent un matériau d'un volume considérable difficilement exploitable à la main. Chaque série de mesures aux seize sites du bassin fournit, en effet, environ 600 mesures ponctuelles.

L'interprétation de ces mesures est très délicate car elles contiennent une composante aléatoire importante qui apparaît aussi bien au stade de l'étalonnage qu'à celui des mesures elles-mêmes.

La structure hétérogène des sols des bassins explique une certaine dispersion, mais nous sommes d'autre part convaincus que le procédé technologique lui-même contient un facteur aléatoire, source d'une dispersion importante dans les mesures.

5.1.1. - Hétérogénéité des terrains

Les sols rencontrés à AMBATOMAINTY sont globalement très voisins les uns des autres, mis à part les matériaux hydromorphes qui occupent les bas-fonds.

A petite échelle, c'est-à-dire à l'échelle de la sonde à neutrons qui opère dans un rayon de 20 cm autour du tube, ils apparaissent par contre très hétérogènes.

Sans parler du remaniement ultérieur (présence d'une stone line d'épaisseur et de profondeur variables), la teneur des différents éléments provenant de la dégradation de la roche mère (gneiss) et leur état plus ou moins avancé de dégradation, font de ces sols un matériel qui présente l'aspect d'une soupe qui serait mal mélangée et contiendrait des grumeaux.

Les éléments grossiers non décomposés, sables, éléments de quartz et noyaux de roche mère intacte, sont par endroits dominants, alors qu'en d'autres endroits l'argile apparaît dense et à l'état presque pur.

Le comportement hydrique de ces sols le long d'un profil n'est pas très représentatif du bassin. Seules les moyennes sur un nombre élevé de profils peuvent donner des résultats significatifs.

5.1.2. - Composante aléatoire liée au processus technologique de la mesure

a) - Fidélité de l'appareil

Des mesures effectuées par le Laboratoire des Radio Isotopes de TANANARIVE, et par nous mêmes, font apparaître différents phénomènes :

- Lorsqu'on enregistre le comptage de neutrons réfléchis dans un milieu de référence, stable, à partir d'une source de neutrons placée dans ce milieu, l'enregistrement obtenu se présente sous une forme pseudo-sinusoidale qui traduit dans le processus de mesure une composante aléatoire, soit au niveau de l'émission de neutrons qui serait légèrement variable autour d'une valeur moyenne, soit au niveau du comptage des neutrons réfléchis.

La pseudo période du phénomène est d'environ 2 à 3 minutes. Ce premier phénomène, en raison de sa courte période n'apporte pas de distorsion sensible à la mesure effectuée sur 100 secondes le plus souvent, et sur 50 secondes sur nos bassins d'AMBATOMANTY (afin que les mesures puissent être effectuées en deux jours).

Cette composante aléatoire devrait disparaître dans les valeurs moyennes effectuées sur une tranche de sol.

- On observe en plus, lorsque l'on poursuit l'enregistrement sur une longue période une dérive de l'enregistrement moyen. Cette dérive suit également une loi sinusoidale d'une période d'une journée, mais il n'est pas certain qu'il n'existe pas des variations ondulatoires d'une période plus longue.

Ces phénomènes dont le premier est lié à la variation de température, soit du milieu, soit de la source, sont beaucoup plus graves car ils introduisent une erreur systématique sur un ensemble de mesures qui se retrouve dans les moyennes.

- Au cours de la mesure de la "valeur-eau" qui sert de mesure de référence pour l'étalonnage de la sonde, nous avons systématiquement relevé l'heure de la journée et la température de l'eau du fût qui sert à cette mesure. Les nombreuses mesures effectuées mettent en évidence l'existence d'une corrélation entre la température du fût et le résultat de la mesure.

Les modifications apportées à l'appareil de mesure telles que le changement d'éléments dans le préamplificateur par la suite de pannes entraînent également des légères modifications de l'étalonnage de l'appareil.

- On constate également que la mesure de référence dite "référence-étui" est encore plus variable que la mesure "référence-eau" au point que l'on a actuellement abandonné cette mesure en tant que mesure de référence.

Le Laboratoire des Radio Isotopes de TANANARIVE a montré que la répétition systématique de cette mesure suit une loi de répartition gaussique.

- La variation de température du dispositif de mesure lui-même, soit au niveau du préamplificateur, soit au niveau de l'échelle de comptage, peut également entraîner des variations dans le comptage d'impulsion.

b) - Estimation de la dispersion aléatoire liée au dispositif de mesure

Le paragraphe précédent fait apparaître différentes variations de la mesure à l'intérieur de la journée ou peut-être selon des périodes plus longues susceptibles d'apporter une erreur systématique ou non dans un ensemble de mesures et dont on connaît certaines causes. L'expérience montre que l'ensemble de ces variations peut être estimée à 2 % environ de la mesure.

c) - Sensibilité de l'appareil

Cette erreur, due à la composante aléatoire, serait très acceptable si l'appareil mesurait la grandeur recherchée.

Nous savons que l'appareil mesure en fait la quantité d'eau totale contenue dans le sol (par le biais de l'ion hydrogène) : eau libre, eau liée et eau de constitution des éléments. La grandeur recherchée qui est la variation d'humidité du sol entre deux époques s'obtient par différence de mesures.

Or sur les bassins d'AMBATOMAINTY la variation annuelle d'humidité des sols pour les tranches de sol dépassant un mètre de profondeur peut ne représenter que 10 % du comptage total d'impulsion.

Il s'ensuit que la composante aléatoire mise en évidence plus haut, peut représenter jusqu'à 20 % de la variation annuelle dans les cas les plus défavorables.

d) - Conclusion sur l'utilisation de la sonde à neutrons

La sonde à neutrons constitue un matériel irremplaçable mais il convient de n'utiliser les mesures qu'avec beaucoup de circonspection, faute de quoi, on risque d'aboutir à des interprétations fausses.

Il faut travailler sur des moyennes de répétitions spatiales ou sur des moyennes temporaires, et nous avons pu dégager sur AMBATOMAINTY quelques lois restrictives empiriques :

- La variation d'humidité à l'échelle d'une semaine n'est pas significative à un seul site. Elle commence à l'être sur six à huit profils.
- La variation d'humidité sur un seul profil ne commence à être significative que sur une période d'un mois en période de variation rapide, comme par exemple après la saison des pluies.

5.2. - Etalonnage (effectué par le Laboratoire des Radio Isotopes de TANANARIVE)

L'étalonnage consiste à déterminer le coefficient appelé "pente" qui permet de convertir les variations d'impulsions en variations d'humidité.

Sur les bassins d'AMBATOMAINTY le principe de l'étalonnage était le suivant :

- Etalonnage en laboratoire d'échantillons de sols recueillis sur les six fosses pédologiques du bassin pour différents horizons, soit sur une quarantaine d'échantillons.
- Etalonnage des sols aux sites de mesures d'humidité par comparaison des échantillons de référence avec les prélèvements effectués à chaque site à la tarière au moment du creusement du trou destiné au cheminement de la sonde.

Les premiers échantillons de fosse ont fait l'objet de nombreuses analyses. Sur les seconds, on ne dispose comme analyse quantitative que de la granulométrie de ces échantillons.

Les mesures de laboratoire donnaient pour les différents échantillons, des pentes allant de 11,5 à 14,5 impulsions pour une variation de 1/100 de l'humidité dans le sol.

On constate cependant que quatre séries d'échantillons provenant de quatre fosses correspondant aux types de sols les plus courants avaient des pentes de 12,5 à $\pm 0,5$ près.

Les deux séries restantes provenaient de sols hydromorphes dans lesquels aucun de mesures d'humidité n'a été implanté.

La valeur de 12,5 a été retenue comme valeur unique de pente d'étalonnage pour tous les sites à toutes les profondeurs.

Les essais d'analyse plus fine ont tous échoué. Il a été en particulier impossible d'établir une corrélation entre les valeurs de la pente mesurée en laboratoire sur les échantillons fosse, et une fraction de la granulométrie de ces échantillons (fraction des éléments grossiers, ou des éléments fins).

Etalonnage de la sonde par la "mesure-eau"

La dispersion de 3 % sur la mesure de la valeur eau a été réduite à une dispersion résiduelle de 1 % en utilisant les corrélations décrites plus haut en fonction de la température du fût. Pour déterminer la "valeur-eau" moyenne on a supposé que la température du sol était pratiquement constante et égale à la température moyenne annuelle aérienne fournie par l'abri météorologique.

5.3. - Mesures effectuées en 1972 - 1973

Les mesures ont été effectuées régulièrement à tous les sites, tous les dix centimètres, avec une fréquence hebdomadaire ou bimensuelle.

Les premières mesures débutent sur certains profils le 13 Décembre 1972 mais, compte tenu des distorsions des premières mesures, lorsque l'implantation du tube de mesure dans le sol est trop fraîche, on peut considérer que tous les profils sont opérationnels à partir du 20 Février 1973.

Entre ces deux époques les sols étaient saturés et les profils n'ont pratiquement pas évolués.

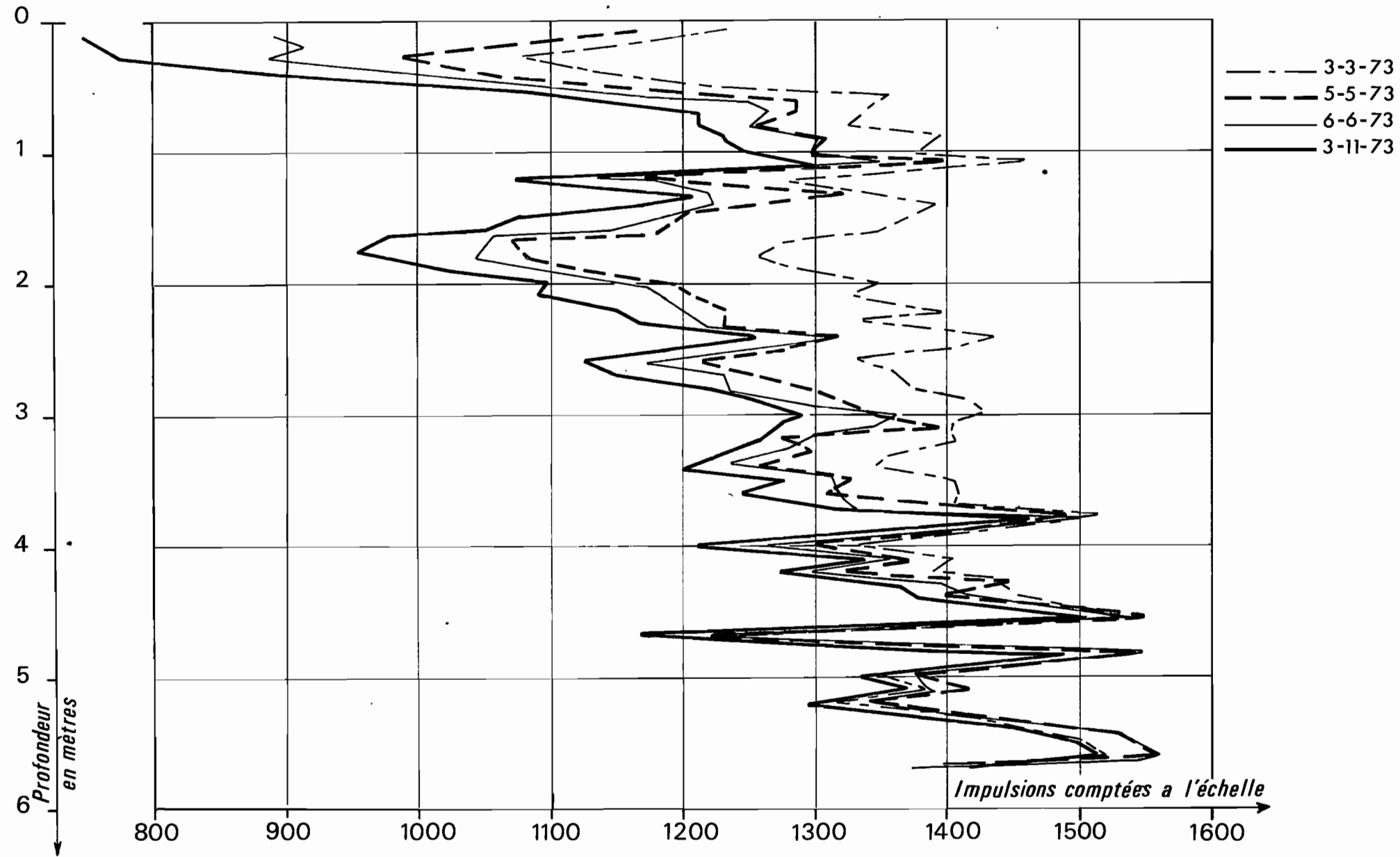
Les profils d'impulsion en fonction de la profondeur étaient dessinés au fur et à mesure que les mesures étaient effectuées. Ces dessins servaient de premier contrôle à priori sur la qualité des mesures.

Ces profils apparaissent dans l'ensemble très torturés et reflètent l'hétérogénéité à petite échelle de sols décrite plus haut.

A titre indicatif, nous représentons sur le graphique 24 les différents profils obtenus en 1973 au site n° 14, un des trois profils dépassant 3,20 m de profondeur installés sur le bassin.

Ces profils sont tracés pour différentes époques entre le 3 Mars, correspondant approximativement à l'état de saturation du sol, et le 3 Novembre, profil minimum.

Variation de profils d'impulsion à la sonde à neutrons au site d'humidité n° 14 Gr. 24
Année 1972-1973



Ces variations peuvent être schématisées par deux tendances différentes :

- Variations de large amplitude sur les premiers 60 cm. L'amplitude de cette variation croît au fur et à mesure que l'on se rapproche de la surface. Ces variations de surface traduisent les échanges avec l'atmosphère par évapotranspiration.
- Variations d'ensemble du profil dont l'amplitude a tendance à décroître lorsqu'on se rapproche de la nappe phréatique. Cette variation est liée à la variation du niveau piézométrique de la nappe et traduit la percolation de l'eau de la zone aérée des sols vers la nappe lorsque le niveau de celle-ci descend.

5.4. - Traitement des mesures et Exploitation

Le traitement est mécanographique. Le programme permet d'effectuer d'une part la moyenne des comptages d'impulsions pour les tranches de sol suivantes : 0.25 cm, 25 - 55, 55 - 105, 105 - 205, 205 - 405, et supérieures à 4,05 mètres.

Il fait ensuite le décompte des variations d'humidité, pour chaque tranche de sol entre deux séries consécutives de mesures. Ce programme pourra ultérieurement calculer les variations d'humidité entre deux époques quelconques de l'année.

5.4.1. - Variation de l'humidité du sol dans la tranche de surface 0 - 55 cm (tableau 15)

Ces variations sont liées à l'évapotranspiration, et les variations observées à chaque site se regroupent autour d'une valeur moyenne avec une certaine dispersion dont les causes ont été données dans le paragraphe précédent.

La valeur moyenne, par bassin, des variations d'humidité de cette tranche superficielle du sol nous paraît être une valeur significative en relation avec l'évapotranspiration du bassin.

Tableau n° 15

B.V.E. d'AMBATOMANTY

Variations moyennes d'humidité dans les tranches

superficielles des sols

(en 10ème de millimètre)

1972 - 1973

DATE	Variation entre deux séries consécutives								Variation cumulée	
	Tr. 0 - 25		Tr. 25 - 55		Tr. 55 - 105		Tr. 0 - 55		Tr. 0 - 55	
	B.V.N.	B.V.S.	B.V.N.	B.V.S.	B.V.N.	B.V.S.	B.V.N.	B.V.S.	B.V.N.	B.V.S.
12-13 Déc.	Début	-	Début	-	Début	-	Début	-	Début	-
22-24 Déc.	251	-	147	-	177	-	388	-	388	-
28-29 Déc.	- 30	-	- 53	-	- 51	-	- 83	-	305	-
12 Jan.	- 78	-	- 12	-	- 3	-	- 90	-	215	-
19-20 Jan.	58	-	0	-	- 6	-	58	-	273	-
25 Jan.	- 31	-	5	-	8	-	- 26	-	247	-
8-10 Fév.	67	39	42	42	38	33	109	81	356	(356)
21-22 Fév.	10	30	- 1	17	9	15	9	47	365	403
1 Mars	15	- 1	18	- 7	9	7	33	- 8	398	395
8-9 Mars	- 36	- 5	- 19	- 14	- 28	- 36	- 22	- 19	376	376
18 Mars	- 6	- 27	- 3	- 13	4	- 11	- 9	- 40	367	336
22 Mars	- 39	- 29	- 36	- 16	- 32	- 26	- 75	- 45	292	291
30 Mars	8	6	- 25	- 27	- 47	- 26	- 17	- 21	275	270
4 Avril	18	12	28	21	25	- 2	46	33	321	303
11 Avril	- 43	- 53	- 26	- 17	- 8	16	- 69	- 70	252	233
26 Avril	36	69	- 11	- 3	- 27	- 5	25	66	277	299
3 Mai	- 22	- 44	2	0	- 9	- 1	- 20	- 44	257	255
9 Mai	- 51	- 53	- 19	- 25	- 11	- 13	- 70	- 78	187	177
23 Mai	- 126	- 131	- 54	- 55	- 39	- 19	- 180	- 186	7	- 9

Tableau n° 15 (suite)

DATE	Variation entre deux series consécutives								Variation Cumulée	
	Tr. 0 - 25		Tr. 25 - 55		Tr. 55 - 105		Tr. 0 - 55		Tr. 0 - 55	
	B.V.N	B.V.S.	B.V.N.	B.V.S.	B.V.N.	B.V.S.	B.V.N.	B.V.S.	B.V.N.	B.V.S.
8 Juin	- 42	- 28	- 53	- 35	- 23	- 30	- 95	- 63	- 88	- 72
20 Juin	229	233	114	29	112	29	343	345	255	273
29 Juin	- 11	- 23	2	11	18	16	- 9	- 12	246	261
18 Juil.	- 34	21	- 46	- 27	- 33	- 13	- 80	- 6	166	255
1 Août	86	49	70	88	40	58	156	137	322	392
16 Août	- 42	- 17	6	- 40	42	- 18	- 36	- 57	286	355
31 Août	6	- 34	26	10	45	37	32	- 24	318	311
15 Sept.	-114	-130	- 54	- 68	- 51	- 54	-168	-198	150	113
1 Oct.	-102	-	- 68	-	- 49	-	-170	-	- 20	-
15 Oct.	13	- 69	1	- 47	- 9	- 42	14	- 116	- 6	- 3
3-4 Nov.	-162	-167	-107	-102	-60	-50	-269	-269	-276	-272
13 Nov.	290	276	165	147	54	24	455	423	180	151
20 Nov.	22	16	2	- 7	3	8	24	97	204	160
9 Déc.	0	37	5	10	29	53	5	47	209	207
16 Déc.	- 53	- 91	- 41	- 50	-47	- 60	- 94	-141	115	66
22 Déc.	104	123	62	85	6	85	166	208	281	274

Les variations moyenne d'humidité sur les bassins NORD et SUD ont été tracées sur le graphique 25 pour la tranche 0-55 cm pour l'année 1972 - 1973.

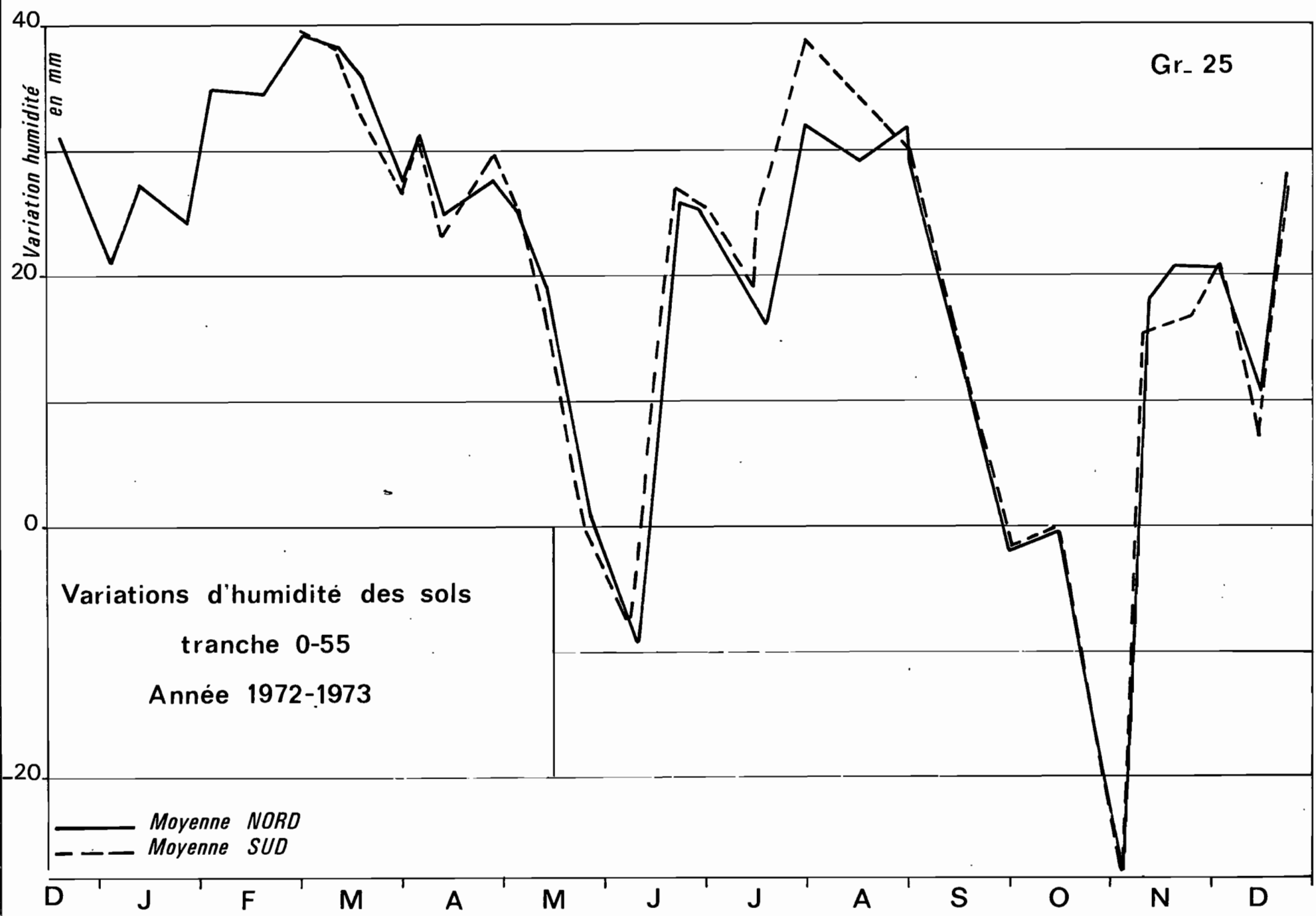
Ces deux variables sont pratiquement identiques à quelques écarts près, observés à certains époques. Ces écarts tiennent au fait que l'ensemble des mesures effectuées sur le bassin NORD sont décalées d'une journée par rapport aux mesures effectuées sur le bassin SUD, et traduisent la pluie précipitée pendant la nuit séparant les deux ensembles de mesure.

Ainsi la pluie moyenne précipitée dans la nuit du 31 Juillet était de 7 mm, et l'écart observé entre les deux moyennes NORD et SUD est de 7,5 mm.

Ces variations moyennes font apparaître l'existence en 1973 - 1974 d'une saison pluvieuse de contre saison pendant les mois de Juillet et Août 1973, dont les caractéristiques sont très différentes de la saison des pluies (petites pluies fines et crachin), mais suffisantes cependant pour ramener la première tranche à un état voisin de l'état de saturation observé pendant la saison des pluies.

Comme nous le verrons dans le paragraphe suivant, les tranches profondes ont été beaucoup moins influencées par cette variation secondaire et la nappe n'a pas été rechargée.

Entre les deux saisons pluvieuses, la tranche superficielle 0-55 du sol s'assèche rapidement, la première fois au cours du mois de Mai, et la seconde fois en Septembre et Octobre.



5.4.2. - Variation d'humidité des tranches profondes des sols

Pour les tranches profondes nous avons utilisé comme matériau de travail les comptages d'impulsions moyens pour les différentes tranches de sol.

La représentation chronologique de ces comptages permet de voir la variation annuelle de l'humidité tout au long de l'année.

A titre d'exemple, nous représentons sur le graphique 26 la variation de ces impulsions pour la tranche 105-205 du sol à différents profils hydriques.

Ces graphiques permettent de contrôler à priori le bon fonctionnement des tubes.

Ils nous ont permis de constater que deux tubes, les numéros 1 et 7 ont un fonctionnement différent des autres (variation annuelle très faible). Nous pensons que l'anomalie concernant ces tubes tient à la nature du terrain très argileux, et non à une défectuosité du tube provenant d'une mauvaise installation.

5.4.2.1. - Variations annuelles

Le tableau 16 donne les variations moyennes annuelles d'humidité (pour 10 centimètres de sol) des différentes tranches de sol 55-105, 105-205, 205-405, et dont la profondeur est supérieure à 4,50 m.

Ces valeurs ont été obtenues par différence des comptages d'impulsions entre le profil le plus humide obtenu aux environs du 3 Mars 1973, et le profil le plus sec situé vers le 3 Novembre 1973. On voit que ces variations d'humidité sont très différentes d'un site à l'autre, et nous avons essayé d'étudier le déterminisme de ces variations par corrélation avec différents paramètres d'influence du milieu.

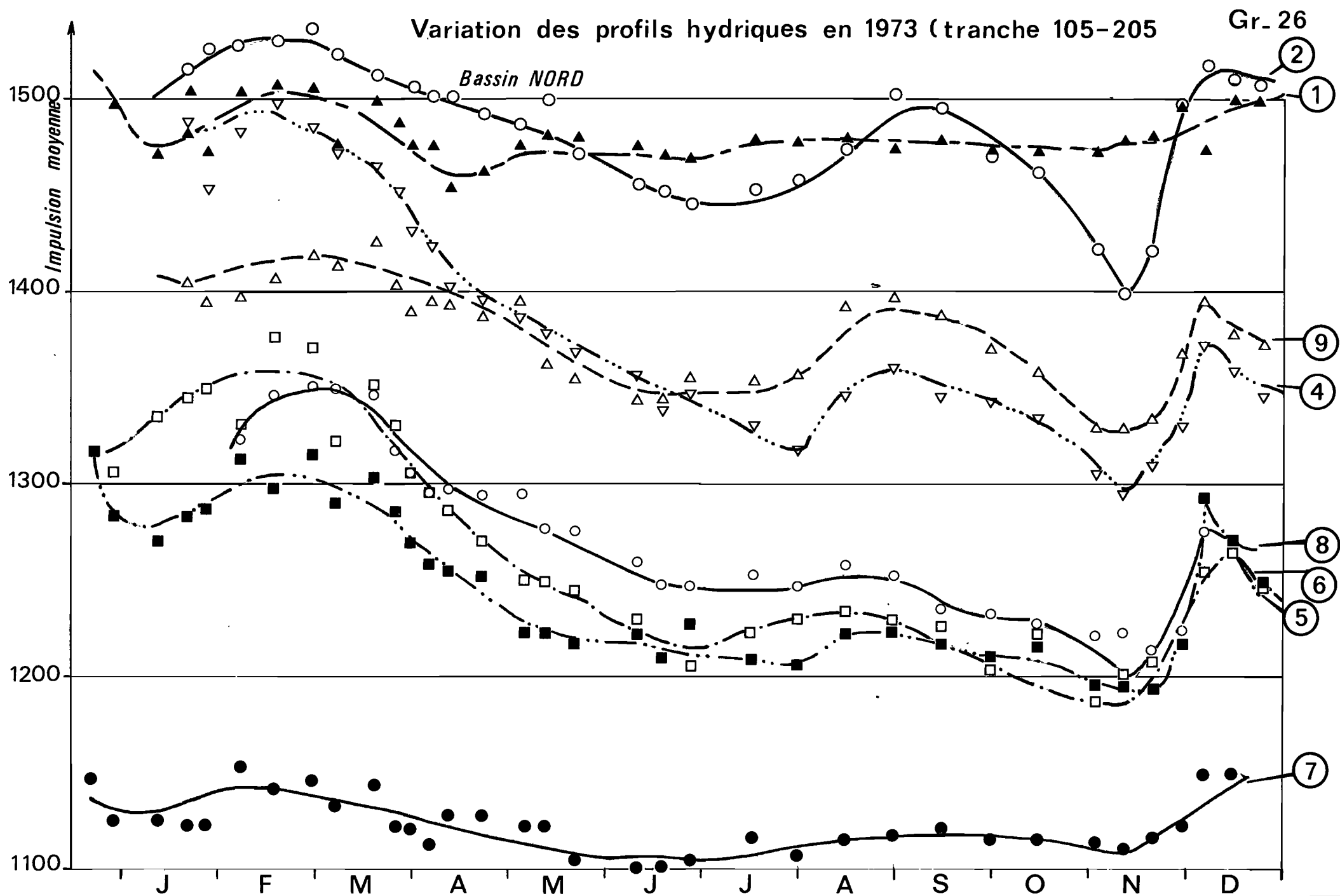


Tableau n° 16

B.V.E. d'AMBATOMAINY

Variations d'humidité annuelles aux différents sites

(en mm pour 10 cm de sol)

1972 - 1973

	Tr. 55 - 105		Tr. 105 - 205		Tr. 205 - 405		Tr. profonde		NO
	H/10 cm	prof.	H/10 cm	prof.	H/10 cm	prof.	H/10 cm	prof.	PIEZO
	de sol	moy.	de sol	moy.	de sol	moy.	de sol	moy.	
1	1,9	0,80	1,4	1,60	-	-	-	-	13
2	4,2	0,80	4,4	1,60	3,0	3,05	4,4	4,80	14
4	4,6	0,80	7,2	1,60	7,9	2,62	-	-	(15)
5	5,6	0,80	4,4	1,60	3,7	2,37	-	-	(16)
6	9,5	0,80	7,2	1,60	-	-	-	-	21
7	5,3	0,80	2,8	1,60	-	-	-	-	18
8	3,2	0,80	5,6	1,60	5,3	2,62	-	-	19
9	4,6	0,80	3,2	1,60	3,2	3,05	-	-	24
10	2,5	0,80	1,6	1,60	1,2	2,37	-	-	1
11	4,6	0,80	6,5	1,60	4,4	2,37	-	-	2
13	6,0	0,80	7,2	1,60	7,2	2,62	-	-	3
14	5,6	0,80	9,0	1,60	6,0	3,05	1,9	4,90	4
15	5,1	0,80	5,8	1,60	4,2	2,37	-	-	6
16	3,2	0,80	7,4	1,60	7,4	2,62	-	-	7
17	6,5	0,80	5,1	1,60	5,8	2,37	-	-	(8+9)/2
18	4,2	0,80	4,2	1,60	4,9	2,32	-	-	11
Moy.	4,7		5,1		4,9		(3,1)		
Variation d'humidité par tranches (en mm)	25		50		98				

5.4.2.2. - Amplitude des variations annuelles d'humidité et nature du sol

Sur le graphique 27 nous avons reporté les différentes variations annuelles d'humidité aux différents sites et pour différentes tranches, en fonction de la valeur moyenne annuelle de comptage d'impulsions pour les tranches correspondantes.

Ce graphique fait apparaître une corrélation entre ces deux variables que l'on peut considérer comme linéaire étant donné la dispersion des points. Il montre que plus le comptage total d'impulsions est faible, plus la variation d'humidité annuelle est forte.

Comme les forts comptages d'impulsions traduisent la présence d'horizons à forte teneur en argile (forte teneur en eau liée) tandis que les comptages faibles sont obtenus dans des horizons plus sableux. On en déduit que les horizons sableux permettent des stockages d'eau plus importants que les horizons argileux.

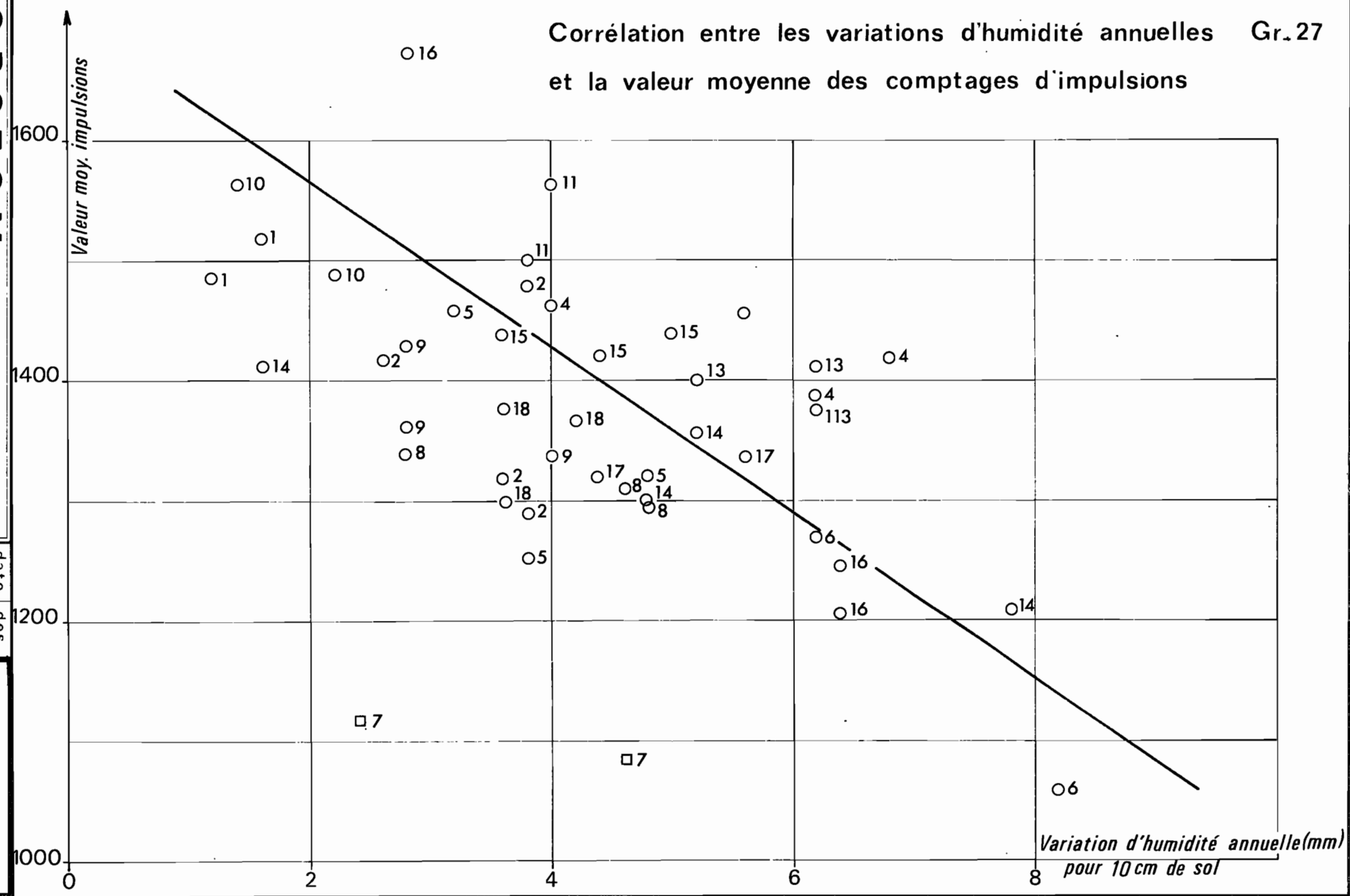
Cette corrélation ne peut s'expliquer par un mauvais étalonnage des sites, car nous avons vu au paragraphe précédent que l'erreur sur l'étalonnage était tout au plus de 10 % (si on en juge par la dispersion obtenue sur les différents échantillons testés) alors que les différences d'amplitude constatées ici varient de 1 à 4.

D'autres influences secondaires apparaissent et en particulier l'amplitude du battement de la nappe au site considéré, lorsque ce site ne se trouve pas à proximité d'un exutoire, mais ces variations secondaires sont masquées par le phénomène précédent.

L'hétérogénéité du sol peut être considérée comme une variable aléatoire, et d'autre part, nous ne contrôlons qu'une petite tranche de la zone aérée du sol.

Il est clair que dans ces conditions nous ne pouvons pas évaluer les variations d'humidité dans les tranches des sols non contrôlées et qu'en conséquence, une partie non négligeable du bilan hydrique nous échappe.

Corrélation entre les variations d'humidité annuelles Gr.27
et la valeur moyenne des comptages d'impulsions



Essai d'explication de l'hydrodynamique des sols à AMBATOMAINTYa) - Observations

Un examen plus attentif du graphique 24 nous permet de faire les constatations suivantes :

- Les variations de grande amplitude observées dans les premiers 60 centimètres de la surface traduisent les échanges avec l'atmosphère, et représentent des variations d'humidité qui descendent au-dessous de la capacité de rétention du sol.

Dans les tranches profondes, l'humidité du sol ne descend jamais au-dessous de cette capacité de rétention, et le sol varie de l'état de saturation à l'état de rétention. La variation d'humidité des tranches profondes des sols traduit une percolation d'eau libre vers la nappe phréatique.

- Le profil 14 fait apparaître des pics quasi invariants, comme par exemple à la profondeur 1,10 m, correspondant à des horizons argileux imperméables alternés avec des horizons plus sableux qui permettent un certain stockage. Par ailleurs, d'autres mesures permettent de dégager les éléments suivants :

. L'examen des piézomètres montre que le niveau de la nappe phréatique est très variable et peut être relevé de 1,50 m après une pluie. Cette constatation prouve que l'équilibre des différentes forces et tensions qui permettent de fixer le niveau de la nappe est très instable. (voire graph. 26 du rapport précédent).

. Un calcul rapide, basé sur le temps de réponse de la nappe phréatique par rapport aux précipitations fait apparaître des vitesses de percolation de l'ordre de 1,50 m par jour, en pleine saison des pluies, alors qu'en début de saison des pluies il faut un certain temps ou plutôt une certaine quantité de pluie pour que les eaux de pluies percolent jusqu'à la nappe.

A la fin de la saison des pluies, par contre, la percolation de l'excédent d'eau libre dans le sol s'effectue pendant environ deux mois, et il y a une contradiction entre la lenteur de cet écoulement résiduel et la vitesse de percolation en pleine saison des pluies.

L'hypothèse que nous proposons permet de rendre compatibles tous ces phénomènes.

b) - Hypothèse de l'hydrodynamique

Tout se passe comme si la percolation vers la nappe profonde passait par le remplissage successif et la vidange de petites nappes perchées constituée d'un horizon plutôt sableux, situé au-dessus d'un horizon imperméable argileux.

Nous imaginons le sol comme formé d'un grand nombre de lentilles argileuses imperméables noyées dans une structure plus perméable.

Au début de la saison des pluies chaque lentille constitue une petite nappe phréatique perchée qui s'écoule vers les horizons plus profonds en contournant cette lentille.

A l'occasion de la mise en place des tubes humidimétriques, opération qui s'est effectuée en pleine saison des pluies 1972.

Nous avons mis en évidence l'existence de ces nappes perchées, en faisant apparaître à la suite de forages à la tarière des niveaux piézométriques proches de la surface, très au-dessus des niveaux délimités par les piézométries.

Chacune de ces micro-nappes constitue une possibilité de stockage dans le sol et l'écoulement de ces micro-nappes vers les horizons inférieurs est d'autant plus important que leur charge est importante.

En pleine saison des pluies tout le sol est saturé, les nappes perchées communiquent toutes plus ou moins entre elles, et le niveau piézométrique de la nappe profonde résulte de l'équilibre de la charge de la masse d'eau libre située au-dessus en état de percolation, et de l'ensemble des pertes de charges créées par chaque horizon argileux.

5.5. - Conclusion - Perspective de bilan hydrique

Les mesures de sonde à neutrons effectuées sur AMBATOMAINTY, bien que représentant un effort laborieux, ne nous permettent pas d'obtenir tous les résultats quantitatifs que nous étions en droit d'espérer.

Nous avons pu dégrossir le comportement hydrique du sol et aboutir aux résultats suivants :

a) - Seule la tranche superficielle du sol (environ 60 cm), restitue de l'eau à l'air, et les variations à l'intérieur de cette tranche sont en forte corrélation avec l'E.T.R.

Par contre, il est très possible que cette tranche de sol, dans sa phase de dessèchement, libère de l'eau qui percole vers la nappe. Mais si cette quantité d'eau percolée est du même ordre de grandeur de celle de la tranche suivante dont la variation d'humidité annuelle représente 25 mm, on peut dire que la quantité d'eau qui percole est faible par rapport à la quantité d'eau restituée à l'atmosphère.

b) - L'assèchement des tranches profondes libère exclusivement de l'eau qui percole vers la nappe, et durant cette phase, les sols passent de l'état de saturation à l'état de rétention.

Ces tranches profondes du sol permettent un certain stockage dont l'importance dépend essentiellement de la nature des différents horizons pédologiques.

Cette possibilité de stockage décroît globalement lorsqu'on se rapproche de la nappe phréatique, mais la capacité de stockage est à l'échelle ponctuelle une variable aléatoire.

L'ensemble de ce stockage représente en moyenne 50 mm d'eau par tranche de 1 mètre de sol dans les quatre premiers mètres de profondeur, mais nous ne contrôlons pas ce qui se passe au-dessous.

CHAPITRE VI

LES RESERVES EN EAUX SOUTERRAINES

Les relevés de la nappe phréatique aux différents piézomètres ont été effectués à l'occasion de chaque série de mesures à la sonde à neutrons (avec une répétition de la mesure le jour suivant).

Nous nous bornerons dans ce rapport à reproduire sur le graphique 28 la variation du niveau de la nappe phréatique à quelques piézomètres au cours de cette campagne.

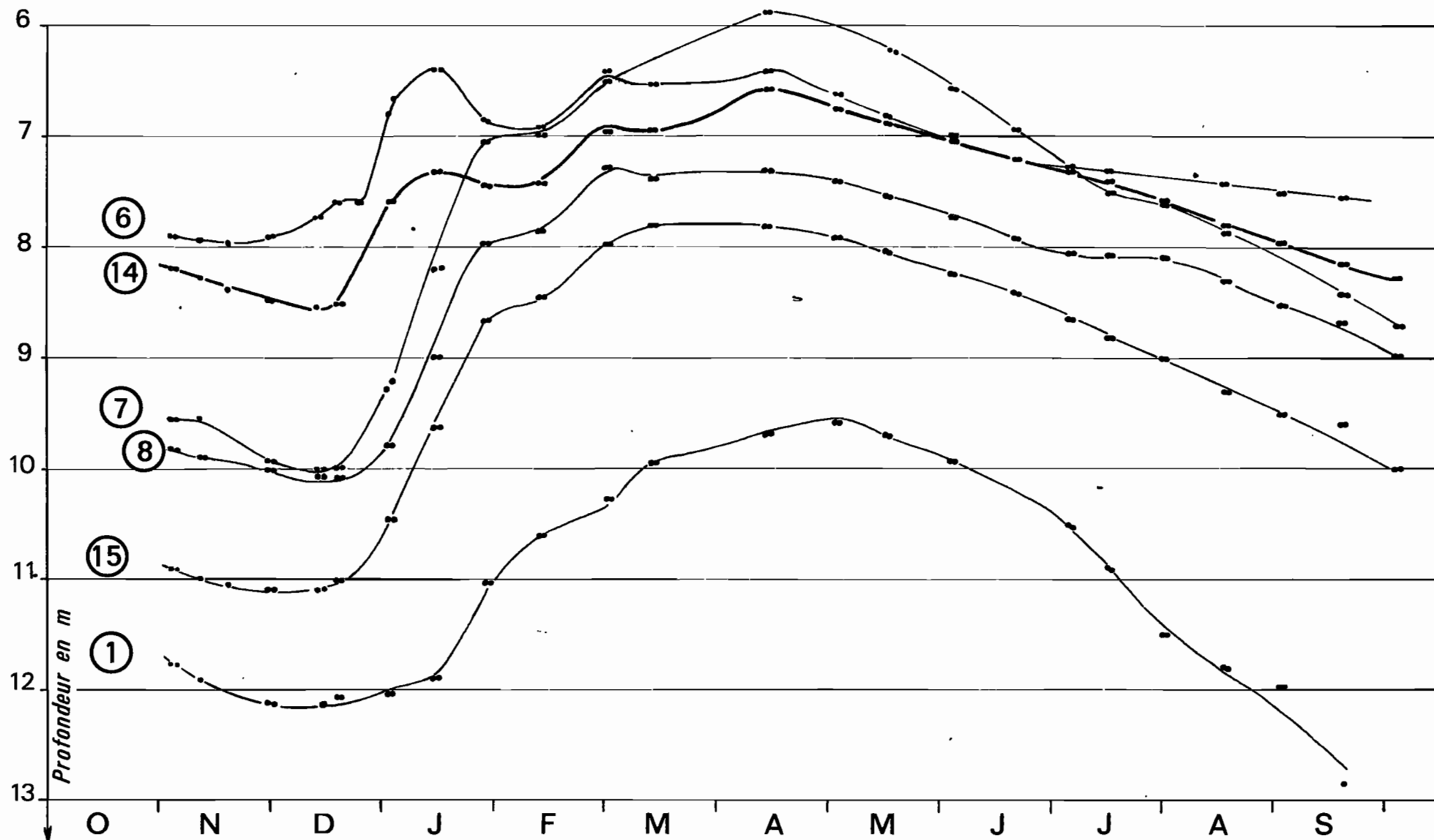
L'interprétation des mesures de 1972 - 1973 avait permis de mettre en place le matériel destiné à traiter ces mesures mécanographiquement dans le but de déceler des modifications éventuelles dans le comportement de la nappe NORD consécutives aux aménagements effectués dont le plus important pourrait être la création de la rizière dans le bas fond.

Cet effet est cumulatif et la création des rizières est trop récente pour qu'une modification du comportement de la nappe NORD puisse être décelé.

Variations du niveau de la nappe à quelques piézomètres

Gr. 28

Année 1973-1974



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

MISSION DE TANANARIVE
B. P. 434

TELEPHONE : 268-24