- 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 1974-1975

EFFET DE LA MISE EN VALEUR AGRICOLE

D. IBIZA

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

MISSION A TANANARIVE - HYDROLOGIE

1976

71708

Bilan hydrique sous prairies naturelles et artificielles

Bassins versants expérimentaux

d'AMBATOMAINTY

Campagne 1974-1975 : Effet de la mise en valeur agricole

S O M M A I R E

Pages

NOTICE DE PRESENTATION 1

CHAPITRE I - Action de l'Homme 3

1.1 - Traitement du bassin NORD 3
1.2 - Traitement du bassin SUD 3

CHAPITRE II - Pluviométrie 5

2.1 - Hétérogénéité spatiale 5
2.2 - Moyennes spatiales 5

CHAPITRE III - Hydrométrie 9

3.1 - Aspect des écoulements. Coefficients d'écoulement 9
3.2 - Analyse des crues 9

3.2.1 - Définitions caractérisant l'averse 16
3.2.2 - Corps d'averses moyens par bassin 16
3.2.3 - Comparaison des lames ruisselées 19
3.2.4 - Comparaison par rapport aux années antérieures 19
3.2.5 - Comparaison des temps de montée 20
3.2.6 - Evolution des temps de montée 20
3.2.7 - Etude de l'infiltration sous des précipitations d'intensité saturante 22
3.2.8 - Correction de l'écart en fonction de la quantité de la fraction de pluie excédentaire au seuil, tombée pendant les 20 premières minutes du corps d'averse.

CHAPITRE V - Variation des stocks en eaux souterraines 27

5.1 - Variation de l'humidité des sols 27

5.1.1 - Rappel des résultats obtenus sur les mesures 1973 27
5.1.2 - Résultats 1974 29
5.1.3 - Réhumidification du sol en début de saison des pluies 31

5.2 - La nappe phréatique 32

5.2.1 - Contrôle de la nappe 32
5.2.2 - Définition d'un "coefficient d'emmagasinement apparent de la nappe" 33

CHAPITRE VI - Résultats de la station climatologique 34

6.1 - Evapotranspiration potentielle 34
6.2 - Evaporation 36

...

CHAPITRE VII - Essais de bilans hydriques annuels et saisonniers 37

7.1 - Bilans hydriques annuels 37

7.1.1 - Recherche d'une valeur de pluie moyenne spatiale par bassin 38

7.1.2 - Résultats obtenus. Calcul de l'ETR 41

7.2 - Bilans hydriques saisonniers 44

7.2.1 - Rappel des méthodes de contrôle des variations des réserves souterraines .. 44

7.2.2 - Résultats obtenus 46

CHAPITRE VIII - Conclusion 48

Annexe

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)

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 1974. 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

L'année 1973-1974 a permis de tester l'effet d'un brulis tardif sur une savane non arborée.
Les mesures de 1974-1975 permettent d'apprécier les premiers effets d'un aménagement agricole complet.

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.

C H A P I T R E I

Action de l'Homme

1.1 - TRAITEMENT DU BASSIN NORD

Les travaux de mise en valeur agricole du bassin NORD ont été décrits dans les rapports du C.T.F.T. On trouvera à la figure 1 la carte d'utilisation des sols.

Le tableau 1 donne le calendrier approximatif des différents travaux de mise en culture. On voit que ces travaux n'aboutissent à un résultat effectif qu'à partir de Septembre 1974 et que la campagne hydrologique 1974-1975 est la première à contrôler l'effet de l'aménagement complet, les cultures effectuées pendant la saison précèdente n'excèdant pas 2 hectares, soit 7 % de la superficie totale du bassin.

Il convient de signaler toutefois que les premiers effets du reboisement ne pourraient être appréciés que dans un an ou deux, les arbres étant encore trop petits pour apporter actuellement une modification du milieu et du bilan hydrique.

1.2 - TRAITEMENT DU BASSIN SUD

Rappelons que ce bassin destiné à servir de témoin, et dont la couverture végétale devait rester "figée" pendant toute la phase de test, a en réalité brûlé le 3 Novembre 1973. Cette action qui n'était pas prévue au programme a permis de tester l'action du feu au cours de la campagne 1973-1974. Le bassin retourne actuellement vers son état initial et redevient représentatif en tant que bassin témoin.

Tableau n° 1

B.V.Ed'AMBATOMAINTY

Calendrier des aménagements agricoles

sur le bassin NORD

Aménagements	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Année 1973												
- Brises vents					P				C	C	C	C
- Cultures versants 1e tranche					P				C	C	C	C
- Cultures versants 2e tranche												
- Rizière												P
- Reforestation par trouaison												
- Amélioration zone paturage												
Année 1974												
- Brises vents	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
- Cultures versants 1e tranche	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
- Cultures versants 2e tranche					P				C	C	C	C
- Rizière	P	P	P	P					C	C	C	C
- Reforestation par trouaison	P	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
- Amélioration zone paturage					P				C	C	C	C

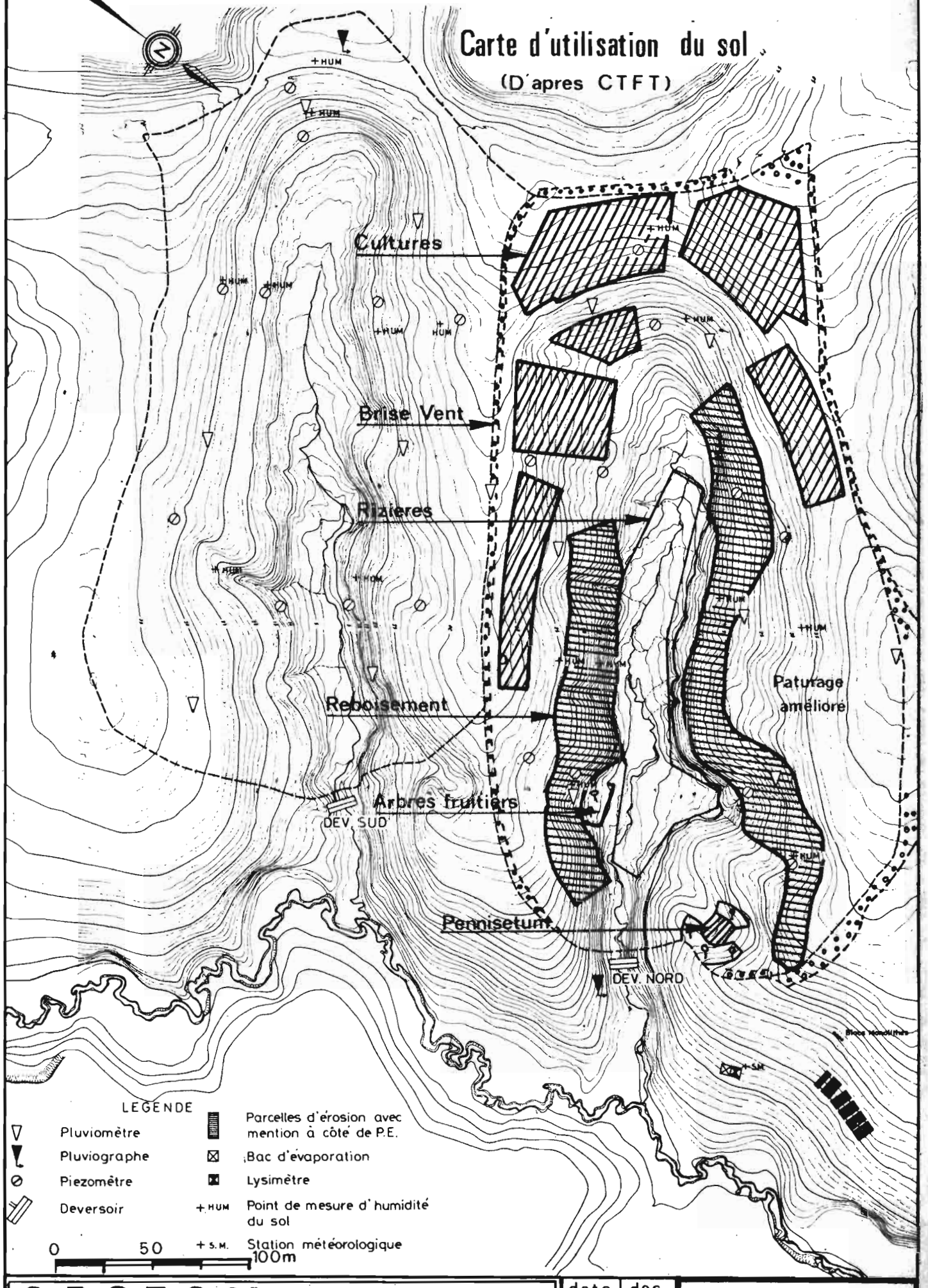
Notations : P = Préparation

C = Mise en culture

Remarque : L'effet de la reforestation ne pourra se faire sentir qu'à partir de 1976 lorsque les arbres auront atteint une croissance suffisante.

B.V.E d'AMBATOMAINTY

Gr_ 1



O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique	date	des	MAD- 171797
	11-75	D-JP	

C H A P I T R E II

Pluviomètrie

Les précipitations pendant la campagne 1974-1975 ont été abondantes. Les bassins ont été concernés par la partie périphérique du cyclone INES du 12 au 13 Mars 1975. La quantité de pluie recueillie au cours de la journée du 12 Mars s'élève à 125 mm en 24 heures.

2.1 - HETEROGENEITE SPATIALE (graphique 2)

Le tableau 2 regroupe les précipitations mensuelles recueillies aux différents postes. Comme à l'accoutumée on observe une certaine hétérogénéité des résultats suivants les versants. Cette différenciation est produite par le vent ; les pluviomètres installés sur les versants abrités recueillent en effet plus d'eau que les pluviomètres installés sur les versants exposés. Cet effet est cependant moins net que pour les années précèdentes, à l'exception du mois de Mars dont les résultats sont nettement influencés par le cyclone INES. Les précipitations recueillies à l'occasion d'un cyclone subissent en effet plus nettement l'effet orographique car ce sont des précipitations de faible intensité qui sont accompagnées d'un vent soutenu.

2.2 - MOYENNES SPATIALES

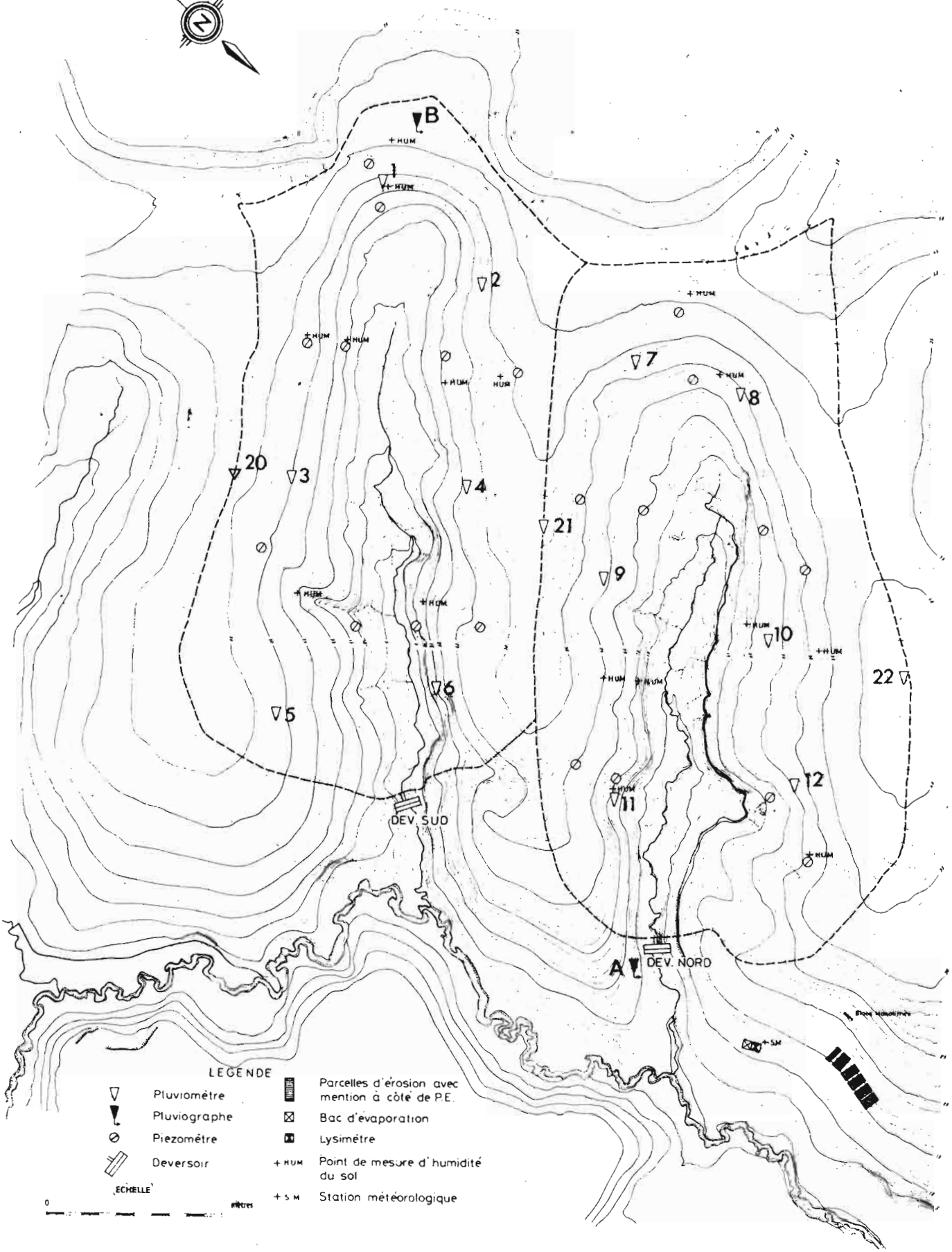
La moyenne (moyenne arithmétique des six pluviomètres du bassin) sur les 9 mois observés (d'Octobre à Juin) s'élève pour le bassin SUD à 1.680 mm et pour le bassin NORD à 1.708 mm.

La moyenne des pluviomètres de crête 20, 21, 22, pluviomètres moins influencés par l'exposition, s'élève à 1.748 mm. Cette dernière valeur est certainement plus proche de la moyenne vraie effectivement précipitée sur chaque bassin.

B.V.E d'AMBATOMAINTY

Gr_ 2

Carte de situation des pluviomètres



O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique | date 11-75 | des D-JP | MAD – 171798

Tableau n° 2

B.V.F.d'AMBATOMAINTY

Totaux pluviomètriques mensuels et annuels

Année 1974 - 1975

Poste	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Total partiel
1	117,5	98,5	343,4	188,2	339,9	413,3	104,0	50,2	29,0	1684,0
2	118,9	102,9	355,2	207,4	375,1	361,2	89,6	44,7	21,9	1676,9
3	128,6	103,5	338,3	207,4	377,1	456,5	105,7	55,8	37,7	1810,6
4	116,0	97,4	340,0	210,1	378,1	356,7	84,5	40,2	21,5	1644,5
5	117,8	102,4	318,8	202,4	374,1	454,9	104,1	57,5	40,6	1772,6
6	100,3	94,3	314,3	187,1	359,6	312,6	75,9	33,0	14,9	1492,0
7	115,9	93,0	346,6	197,0	375,2	404,8	99,7	44,0	23,5	1699,7
8	113,8	99,2	360,0	202,3	393,4	355,1	91,8	39,6	18,7	1673,9
9	124,9	100,0	345,7	208,2	392,0	436,5	112,6	55,0	39,3	1814,2
10	112,9	97,4	336,9	206,6	407,0	359,2	97,9	41,6	21,4	1680,9
11	126,7	103,2	340,3	204,6	391,1	453,0	112,0	58,2	40,8	1829,9
12	102,2	91,8	329,3	187,0	392,9	310,5	82,5	40,4	14,4	1551,0
Moyenne SUD	116,5	99,8	335,0	200,4	367,3	392,5	93,9	46,9	27,6	1680,1
Moyenne NORD	116,0	97,4	343,1	200,9	391,9	386,5	99,4	46,4	26,3	1708,2
Poste 20	124,3	105,5	338,0	215,7	376,2	434,8	102,0	54,2	35,3	1786,0
Poste 21	117,4	100,3	339,4	204,8	381,5	413,3	102,3	52,6	30,6	1742,2
Poste 22	115,5	96,4	340,4	208,2	407,7	377,6	99,6	47,6	23,3	1716,0
Moyenne 20, 21, 22	119,0	100,7	339,2	209,5	388,4	408,5	101,2	51,4	29,7	1748,0

Moyenne SUD (1,2,3,4,5) = 1715,7

Moyenne NORD (7,8,9,10,11) = 1739,7

Si on exclue de la moyenne pour chaque bassin les pluviomètres, 6 pour le bassin SUD et 12 pour le bassin NORD, qui sont nettement déficitaires en raison de leur implantation sur les fortes pentes des versants exposés aux vents, la moyenne pour chaque bassin calculée par la moyenne arithmétique des cinq pluviomètres restants devient :

Bassin SUD P_M (pluv. 1, 2, 3, 4, 5) = 1.716 mm

Bassin NORD P_M (pluv. 7, 8, 9, 10, 11) = 1.739 mm

Ces dernières valeurs sont sans doute plus proches de la moyenne vraie que les valeurs calculées à partir des six pluviomètres par bassin. Dans notre rapport, nous utiliserons dans la partie "Hydrologie" (Chap. III) la moyenne effectuée aux six pluviomètres puisque les rapports précédents furent élaborés sur cette base.

Nous préférerons utiliser la moyenne des 5 pluviomètres dans les calculs de bilan hydrique du chapitre VI.

On trouvera au tableau 3 les relevés des précipitations en 24 heures des averses ayant provoqué des crues.

Tableau n° 3

B.V.Ed'AMBATOMAINTY

Précipitations en 24 heures ayant provoqué des crues

Année 1974 - 1975

N° Crue	N° Poste / Date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Moy. SUD	Moy. NORD
1	24.10.74	31,5	33,0	32,5	33,3	31,0	27,0	30,0	30,0	32,0	31,0	32,0	26,5	31,4	30,2
2	30.10.74	26,8	27,0	32,0	26,5	28,0	23,8	28,8	26,5	30,4	26,6	31,0	26,5	27,3	28,2
3	01.11.74	18,5	19,7	19,5	20,7	19,4	19,2	17,4	20,6	19,0	21,8	20,0	20,8	19,5	19,9
4	04.11.74	13,3	13,5	14,1	13,5	14,2	13,6	13,2	13,4	14,2	12,9	15,0	13,9	13,7	13,8
5	22.11.74	27,4	25,4	28,4	22,8	28,5	22,1	24,0	23,5	26,0	21,9	26,5	20,5	25,8	23,7
6	05.12.74	25,2	26,5	25,5	27,0	26,0	28,0	27,7	30,4	27,7	28,8	26,8	28,8	26,4	28,4
7	07.12.74	12,1	18,3	14,6	17,3	16,6	16,4	15,2	21,2	16,1	26,6	20,0	26,7	15,9	21,0
8	10.12.74	26,0	27,4	28,0	27,1	27,0	25,7	26,5	26,7	27,0	26,0	26,9	25,1	26,9	26,4
9	11.12.74	22,8	19,0	20,0	19,0	18,0	19,0	20,7	21,2	21,1	19,5	20,2	20,8	19,6	20,6
10	14.12.74	30,2	30,0	25,5	28,7	25,5	26,0	31,5	33,5	30,2	30,0	27,5	30,0	27,6	30,4
11	17.12.74	26,0	28,5	26,2	28,2	22,4	23,9	27,0	28,5	28,3	27,1	23,9	24,0	25,9	26,5
12	19.12.74	30,0	32,2	38,0	32,0	30,0	27,6	31,2	31,5	32,5	33,2	32,5	26,0	31,6	31,1
13	24.12.74	40,0	46,5	35,7	43,9	35,0	38,5	43,1	42,7	43,0	31,0	41,5	38,0	39,9	39,9
14	31.12.74	23,1	20,4	18,2	18,6	17,0	18,5	20,5	21,7	18,0	19,5	17,0	18,0	19,3	19,1
15	02.01.75	33,0	31,5	28,0	30,2	25,5	29,2	28,5	32,5	29,8	32,0	27,7	33,5	29,6	30,7
16-17	06.01.75	43,5	43,8	40,8	41,5	37,8	34,5	39,2	40,0	37,5	36,0	34,5	32,0	40,3	36,5
18	20.01.75	32,0	36,7	39,0	40,0	34,5	37,0	37,3	34,5	37,5	31,5	31,0	24,7	36,5	32,7
20	08.02.75	24,5	25,5	26,9	27,5	35,5	27,6	29,7	27,5	30,0	27,2	30,1	24,5	27,9	28,2
21	09.02.75	24,0	25,0	23,5	24,8	24,7	25,5	24,9	26,7	25,9	27,5	27,5	28,9	24,6	26,9
23	11.02.75	31,2	36,5	34,0	38,0	37,0	40,0	39,0	44,4	44,0	58,5	44,0	56,1	36,1	47,7
24	12.02.75	50,0	57,5	56,0	55,6	51,5	54,1	60,2	62,2	59,9	56,5	57,2	56,6	54,1	58,8
25	13.02.75	14,3	17,5	14,0	17,2	12,8	15,8	18,7	21,5	20,2	27,1	19,4	31,1	15,3	23,0
26	14.02.75	37,5	40,6	49,5	41,3	44,6	33,6	37,0	34,6	41,0	37,4	41,5	30,5	41,2	37,0
27	15.02.75	17,5	22,2	21,9	22,2	21,8	22,0	20,0	21,0	21,2	21,1	21,7	19,6	21,3	20,8
28	18.02.75	35,0	37,4	39,8	36,9	40,0	36,5	37,1	36,6	39,5	37,2	40,0	33,5	37,6	37,3
29	28.02.75	20,0	18,1	19,6	17,8	19,6	17,9	19,2	19,9	18,5	19,5	18,0	20,0	18,8	19,2
30	02.03.75	19,8	21,5	23,0	21,5	24,7	22,0	20,0	21,0	22,5	21,5	23,5	21,3	22,1	21,6
31	04.03.75	31,2	33,0	36,8	37,2	36,0	34,0	31,8	33,0	37,0	35,8	36,2	33,0	34,7	34,5
32	12.03.75	132,5	107,7	149,0	108,7	153,2	96,0	133,8	109,0	140,0	118,0	154,1	98,5	124,6	125,6
33	13.03.75	64,3	52,0	64,8	49,5	63,2	43,6	61,5	53,0	64,5	50,0	66,3	44,5	56,2	56,6
34	24.03.75	32,7	32,8	29,8	29,8	23,6	28,5	32,7	28,8	29,8	21,8	25,0	21,8	29,5	26,6
35	31.03.75	17,4	16,4	18,0	15,6	15,8	15,5	19,7	19,0	18,9	16,3	18,2	16,2	16,4	18,0
36	19.04.75	41,3	37,5	37,6	35,4	31,1	30,2	41,5	39,2	38,3	39,8	38,0	37,5	35,5	39,0
37	26.04.75													19,2	22,2

C H A P I T R E III

Hydromètrie

3.1 - ASPECT DES ECOULEMENTS - COEFFICIENTS D'ECOULEMENT

A partir de cette année toutes les mesures hydromètriques sont dépouillées mécanographiquement par le programme POH 310 qui édite les tableaux d'écoulements journaliers d'une part, et qui isole d'autre part les crues et détermine leurs principales caractéristiques.

Les débits moyens journaliers pour la campagne 1974-1975 sont donnés dans les tableaux 4. Le calcul des débits moyens journaliers a été repris pour les années antérieures, par le même procédé et les résultats figurent en annexe du présent rapport.

Le tableau 5 permet de comparer les écoulements totaux mensuels sur les bassins NORD et SUD. Il donne également les volumes ruisselés mensuels obtenus en faisant le décompte des volumes ruisselés à l'occasion de chaque crue.

Les coefficients d'écoulements totaux sur les bassins NORD et SUD sont identiques et valent 54 % pour la période observée contre 44 % en 1973-1974 et 63 % en 1972-1973.

Les coefficients de ruissellements sont respectivement de 5,9 % pour le bassin NORD et de 7,9 % sur le bassin SUD. On voit que le ruissellement ne cesse de diminuer sur le bassin NORD par l'action des aménagements agricoles, et de s'écarter de la valeur du bassin SUD, bassin témoin. Ils étaient égaux (7,2 %) en 1972-1973 ; ils valaient enfin 4,5 et 5,3 % en 1973-1974.

3.2 - ANALYSE DES CRUES

Les principales caractéristiques des crues sont regroupées dans le tableau 6.

Tableau n° 4 - 1

B.V.E. d'AMBATOMAINTY

BASSIN NORD

Débits moyens journaliers en l/s

1974 - 1975

J.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept
1	2,13	5,89	1,73	7,94	5,29	15,1	17,6	8,47	5,60			
2	2,59	6,64	1,97	20,3	5,57	13,3	15,5	7,67	5,60			
3	2,27	5,28	1,95	9,17	4,62	24,9	13,8	7,64	5,60			
4	2,35	4,68	2,03	6,94	4,39	26,8	13,3	7,66	5,60			
5	2,89	6,34	4,21	13,6	4,48	31,0	13,0	8,05	6,00			
6	2,71	3,69	8,37	25,5	4,48	22,2	12,1	7,45	6,00			
7	2,87	2,69	9,26	26,3	6,70	18,7	11,5	7,03	5,80			
8	2,46	2,25	4,71	14,8	12,0	16,4	12,0	6,62	5,50			
9	2,09	2,23	2,99	12,4	16,1	15,9	12,7	6,38	5,40			
10	2,72	2,41	4,90	10,5	11,6	17,3	11,7	6,41	5,40			
11	3,35	2,13	12,7	8,78	54,1	18,0	10,6	6,68	5,00			
12	2,50	2,45	6,93	7,74	65,4	79,2	10,1	6,47	5,00			
13	3,51	4,22	3,83	6,74	40,2	130	9,87	6,16	5,00			
14	3,97	4,37	10,4	5,73	44,4	111	10,1	6,05	4,90			
15	2,14	3,18	8,39	5,99	38,7	57,1	12,5	6,22	4,60			
16	2,03	3,13	7,32	5,94	28,3	41,8	10,2	7,09	5,00			
17	2,04	2,91	14,6	5,97	23,3	35,9	9,33	12,5	4,90			
18	1,71	2,49	14,3	6,82	30,5	31,1	9,36	14,6	5,40			
19	2,08	2,20	16,3	7,12	30,2	27,4	28,5	8,07	5,10			
20	1,83	2,05	16,0	23,3	19,8	25,0	13,2	7,04	5,60			
21	2,12	1,96	12,1	8,50	19,7	22,7	10,3	7,81	5,40			
22	2,07	6,69	8,12	6,06	20,9	20,2	10,3	6,99	5,40			
23	2,20	4,80	7,64	6,71	21,3	19,1	9,54	6,47	5,20			
24	4,98	2,77	21,8	8,01	18,8	35,8	8,93	6,55	5,00			
25	10,6	2,33	19,3	5,39	14,5	20,6	8,77	6,10	4,70			
26	3,70	2,04	13,3	5,78	14,1	17,2	19,3	6,25	4,50			
27	2,93	1,87	10,4	5,49	13,0	16,8	11,6	6,28	6,10			
28	2,69	1,97	6,80	4,68	18,0	16,5	9,11	6,24	5,70			
29	2,21	1,99	6,28	4,67		16,0	8,72	5,86	5,30			
30	7,76	1,64	5,91	4,99		15,1	9,10	5,74	4,70			
31	7,15		10,4	5,47		19,8		5,74				
Moy.	3,18	3,31	8,87	9,59	21,1	31,5	12,1	7,24	5,30			

Tableau n° 4 - 2

B.V.E. d'AMBATOMAINTY

BASSIN SUD

Débits moyens journaliers en l/s

1974 - 1975

J.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.
1	2,05	6,96	1,75	6,58	4,93	12,2	14,5	7,24	5,50			
2	2,13	7,50	1,67	21,9	4,83	11,1	13,6	6,81	5,30			
3	2,06	6,81	1,75	8,00	4,00	22,9	12,2	6,75	5,20			
4	2,28	5,86	1,87	6,26	3,79	24,7	11,4	6,62	5,30			
5	2,17	6,60	3,44	11,3	3,87	28,8	11,1	7,22	5,80			
6	2,15	3,59	6,61	29,9	4,04	19,2	10,4	6,72	5,70			
7	2,31	2,80	5,91	22,6	6,03	16,1	9,97	6,27	5,70			
8	2,34	3,01	4,24	12,9	11,0	14,0	10,4	6,42	5,20			
9	2,16	2,61	2,72	9,37	16,2	13,7	10,8	6,00	4,70			
10	2,29	2,74	5,07	7,95	9,27	14,9	9,83	5,67	4,70			
11	3,21	2,97	14,8	6,41	33,3	16,3	9,45	5,91	4,70			
12	2,72	3,86	6,44	5,67	63,7	81,3	8,70	5,78	4,70			
13	3,61	4,39	4,02	5,24	23,1	134	8,31	5,65	4,70			
14	4,05	3,96	11,5	4,82	42,9	110	8,55	5,65	4,70			
15	2,89	3,44	8,04	5,11	29,4	50,7	11,4	5,71	4,50			
16	2,67	3,23	6,63	4,94	22,3	34,4	9,21	6,57	4,50			
17	2,76	3,04	14,3	4,87	17,6	27,1	8,22	11,6	4,60			
18	2,78	2,84	11,6	5,59	28,0	23,8	7,87	13,4	4,90			
19	2,07	2,47	15,3	5,91	26,6	22,0	28,3	7,48	4,90			
20	1,88	2,27	13,5	29,4	16,3	18,7	10,4	6,66	5,10			
21	1,91	2,15	10,5	7,47	16,7	17,1	8,92	7,07	5,50			
22	1,98	7,77	7,17	5,71	18,3	15,3	8,83	6,12	5,30			
23	2,17	4,31	7,37	6,03	18,4	14,7	8,02	5,86	4,90			
24	4,19	2,65	24,1	6,74	15,8	34,9	7,74	6,21	4,70			
25	10,9	2,39	13,9	4,69	11,7	16,1	7,62	5,90	4,30			
26	3,72	2,21	12,4	5,14	11,0	13,6	17,5	6,02	4,30			
27	3,10	1,99	9,58	4,78	10,4	13,1	9,64	6,01	6,30			
28	2,71	1,77	5,91	4,25	14,3	13,6	7,80	7,14	6,90			
29	2,41	1,80	5,28	4,08		13,6	7,32	5,59	5,40			
30	8,14	1,76	5,05	4,51		13,4	7,48	5,45	4,40			
31	7,37		10,2	4,99		19,0		5,50				
Moy.	3,20	3,66	8,15	8,81	17,4	28,4	10,5	6,70	5,10			

Tableau n° 5

B.V.E. d'AMBATOMAINTY

ECOULEMENTS 1974 - 1975

" TABLEAU RECAPITULATIF "

Mois		B.V. NORD			B.V. SUD		
		Q j moyen l/s	V m3	Le mm	Q j moyen l/s	V m3	Le mm
Octobre	E	3,2	8510	29,3	3,2	8510	32,9
	R	0,3	915	3,1	0,4	1180	4,5
Novembre	E	3,3	8580	29,5	3,7	9490	36,4
	R	0,2	630	2,2	0,4	1090	4,2
Décembre	E	8,9	23760	81,9	8,1	21830	83,9
	R	1,7	4560	15,7	1,9	5250	20,2
Janvier	E	9,6	25680	88,5	8,8	23500	90,7
	R	1,2	3320	11,4	1,6	4280	16,5
Février	E	21,1	51050	176,0	17,4	42090	161,8
	R	4,4	10650	36,7	4,4	10650	40,9
Mars	E	31,5	84370	291,0	28,4	76070	292,6
	R	2,7	7460	25,7	3,7	10130	38,9
Avril	E	12,1	31360	108,1	10,5	27220	104,6
	R	0,5	1420	4,9	0,7	1910	7,3
Mai	E	7,2	19280	66,4	6,7	17950	69,0
	R	0,1	310	1,1	0,1	260	1,0
Juin	E	5,3	13740	47,3	5,1	13200	50,7

Notations : E = Ecoulements totaux

R = Ruissellement

(du 1er Octobre au 1er Juillet)	NORD	SUD
Coefficient d'écoulement	53,0	54,0
Coefficient de ruissellement	5,9	7,9

Tableau n° 6

B.V.E. d'AMBATOMAINTY

Caractéristiques des Crues

Année 1974 - 1975

N°	Date	tm	tb	td	Q max	Vr m3	Lr	P	Kr %
N 1	24.10	75	561		30	185	0,7	30,2	4
S 1	24.10	180	760		31	520	2,0	31,4	7
N 2	30.10	255	600		24	387	0,7	28,2	4
S 2	30.10	135	637		24	300	1,0	27,3	6
N 3	01.11	105	820		17	334	0,6	19,9	5
S 3	01.11	158	889		18	185	0,7	19,5	7
N 4	04.11	75	308		18	92	0,3	13,8	2
S 4	04.11	100	402		22	185	0,7	13,7	5
N 5	22.11	67	282		32	202	0,7	23,7	2
S 5	22.11	135	375		37	339	1,3	25,8	5
N 6	05.12	65	470		35	356	1,2	28,4	4
S 6	05.12	85	292		22	158	0,6	26,4	(2)
N 7	07.12	60	280		35	237	0,8	21,0	3
S 7	07.12	80	970		12	294	1,1	15,9	6
N 8	10.12	240	876		22	464	1,6	26,4	6
S 8	10.12	300	730		26	475	1,8	16,9	6
N 9	11.12	40	280		30	280	1,0	20,6	4
S 9	11.12	110	362		40	310	1,2	29,6	6
N10	14.12	60	940		28	615	2,1	30,4	6
S10	14.12	120	940		35	661	2,5	27,6	9
N11	17.12	75	288		90	456	1,6	26,5	6
S11	17.12	120	310		88	520	2,0	25,9	7
N12	19.12	205	432		57	403	1,3	31,1	4
S12	19.12	240	386		65	398	1,5	31,6	4
N13	24.12	60	350		141	915	3,2	39,9	8
S13	24.12	80	294		232	1091	4,2	39,9	10
N14	31.12	75	325		28	206	0,7	19,1	3
S14	31.12	120	270		37	220	0,8	19,3	4

Tableau n° 6 (suite)

N15	02.01	50	263		175	819	2,8	30,7	9
S15	02.01	95	232		210	1103	4,2	29,6	14
N16	06.01	70	210		30	105	0,4		
S16	06.01	125	245		35	148	0,6		
N17	06.01	55	335		79	508	1,7	36,5	4
S17	06.01	95	180		213	774	3,0	40,3	7
N18	20.01	30	177		288	918	3,2	32,7	9
S18	20.01	54	168		497	1626	6,2	36,5	16
N20	08.02	62	265		65	417	1,4	28,2	4
S20	08.02	100	205		50	243	0,9	27,9	3
N21	09.02	185	590		37	496	1,7	26,9	6
S21	09.02	240	570		39	460	1,8	24,6	7
N23	11.02	58	195		1340	2999	10,3	47,7	21
S23	11.02	102	247		358	1772	6,8	36,1	18
N24	12.02	34	164		1155	3222	11,1	58,8	18
S24	12.02	45	185		1290	3541	13,6	54,1	25
N25	13.02	50	173		235	569	2,0	23,0	8
S25	13.02	120	280		39	157	0,6	15,3	3
N26	14.02	30			440	653	2,2	37,0	5
S26	14.02	65	175		457	1584	6,1	41,2	14
N27	15.02	140	240		65	153	0,5	20,8	2
S27	15.02	190	310		68	302	1,2	21,3	5
N28	18.02	290	590		88	450	1,4	37,3	9
S28	18.02	340	800		95	700	3,3	37,6	14
N29	28.02	60	200		44	156	0,5	19,2	2
S29	28.02	130	280		35	189	0,7	18,8	3
N30	03.03	78	238		53	219	0,8	21,6	3
S30	03.03	135	305			322	1,2	22,1	5
N31	04.03	310	492		74	202	0,7	34,5	8
S31	04.03	250	495		82	240	0,9	34,7	11

Tableau nº 6 (Suite et fin)

N32	12.03	1620	2190		228	8606	29,6	125,6	
S32	12.03	1660	2400		253	9879	37,9	124,6	
N33	14.03	320	840		285	2610	9,0	56,6	
S33	14.03	360	744		308	2512	9,7	56,2	
N34	24.03	30			301	575	2,0	26,6	7
S34	24.03	60	210		274	1123	4,3	29,5	14
N35	31.03	45	165		93	240	0,8	18,0	4
S35	31.03	90	217		74	217	0,8	16,4	4
N36	19.04	42	148		321	1030	3,6	39,0	9
S36	19.04	80	228		315	1377	5,3	35,5	14
N37	26.04	26	126		160	403	1,4	22,2	6
S37	26.04	100	200		115	581	2,2	19,2	11

Notations utilisées :

tm : temps de montée de la crue en minute

tb : temps de base de la crue en minute

Q max : Débit maximum de la crue en l/s

Vr : Volume ruisselé en m3

Lr : Lame ruisselée en mm

P : Valeur moyenne des précipitations en 24 heures sur le bassin en mm

Kr : Coefficient de ruissellement en 24 h $Kr = \frac{Lr}{P}$

3.2.1 - Définitions caractérisant l'averse

Rappelons quelques notations et définitions caractérisant l'averse :

Ci = les différents corps de l'averse
chaque corps d'averse représente l'ensemble des séquences pluvieuses adjacentes dont l'intensité dépasse un seuil donné à priori et pris ici à égal à 1 mm en 5 minutes (soit 12 mm/H).

Ti = temps des différents corps d'averse.

Ki = coefficient de forme des différents corps d'averse.
Ki se calcule de la façon suivante :

$$Ki = \frac{PIi + Cai}{PIi + Ci}$$

avec les notations suivantes :

PIi = pluie initiale avant le corps d'averse Ci.

Ci = Cai + Cbi + Cci ou Cai est la partie de l'averse tombée avant la séquence de 20 minutes Cbi des plus fortes intensités.

C = le corps d'averse total est pris égal à la somme des corps d'averse Ci.

T = temps d'averse total est la somme des Ti.

3.2.2 - Corps d'averses moyens par bassins

C_N, C_S, T_N, T_S sont les corps d'averses et temps d'averses moyens rapportés au bassin NORD (indice N) ou bassin SUD (indice S). Pour passer des résultats ponctuels recueillis aux pluviographes A et B aux valeurs moyennes des bassins, on commence par affecter pour chaque bassin un pluviogramme provenant soit de A soit de B. Le critère de sélection consiste à prendre pour pluviographe représentatif du bassin, le pluviographe dont la valeur recueillie dans le seau en 24 heures se rapproche le plus de la pluviomètrie moyenne sur le bassin en 24 heures.

Le tableau 8 donne les précipitations comparées des précipitations en 24 heures aux pluviographes et des précipitations moyennes sur les bassins.

Tableau n° 7

B.V.E.d'AMBATOMAINTY

Comparaison des lames ruisselées

1974 - 1975

N°	Date	PLUIE						CRUE	
		P_N	P_S	C_N	T_N	C_S	T_S	$C_N - C_S$ cor	L_N	L_S
1	24/10	30,2	31,4						0,7	2,0
2	30/10	28,2	27,3						0,7	1,0
3	01/11	19,9	19,5						0,6	0,7
4	04/11	13,8	13,7						0,3	0,7
5	22/11	23,7	25,8						0,7	1,3
6	05/12	28,4	26,4						1,2	0,6
7	07/12	21,0	15,9						0,8	1,1
8	10/12	26,4	26,9						1,6	1,8
9	11/12	20,6	19,6						1,0	1,2
10	14/12	30,4	27,6						2,1	2,5
11	17/12	26,5	25,9						1,6	2,0
12	19/12	31,1	31,6						1,3	1,5
13	24/12	39,9	39,9						3,2	4,2
14	31/12	19,3	19,1						0,7	0,8
15	02/01	30,7	29,6	27,5	30	27,7	30	- 0,2	2,8	4,2
16	06/01	36,5	40,3						0,4	0,6
18	20/01	32,7	36,5	30,0	35	33,9	35	- 4,0	3,2	6,2
20	08/02	28,2	27,9						1,4	0,9
21	09/02	26,9	24,6						1,7	1,8
23	11/02	47,7	36,1	42,0	75	31,9	80	+ 10,0	10,3	6,8
24	12/02	58,8	54,1	45,0	65	38,2	60	+ 7,0	11,1	13,6
25	13/02	23,0	15,3						2,0	0,6
26	14/02	37,0	41,2	23,5	60	25,7	65	- 2,0	2,2	6,1
27	15/02	20,8	21,3						0,5	1,2
28	18/02	37,3	37,6						1,4	3,3
29	28.02	19,2	18,8						0,5	0,7
30	02/03	21,6	22,1						0,8	1,2
31	04/03	34,5	34,7						0,7	0,9
32	12/03	125,6	124,6						29,6	37,9
33	14/03	56,6	56,2						9,0	9,7
34	24/03	26,6	29,5	24,0	30	29,1	45	- 4,0	2,0	4,3
35	31/03	18,0	16,4						0,8	0,8
36	19/04	39,0	35,5						3,6	5,3
37	26/04	22,2	19,2						1,4	2,2

Tableau n° 8

B.V.E. d'AMBATOMAINTY

Tableau comparatif des précipitations

Année 1974 - 1975

N°	Date	P_A	P_B	P_N	P_S	NORD		SUD	
						Réf	K	Réf	K
1	24.10	28,0	33,5	30,2	31,4	A	1,07	B	0,93
2	30.10	30,0	29,0	28,2	27,3	A	0,94	B	0,94
3	01.11	21,5	20,5	19,9	19,5	A	1,20	B	0,95
4	04.11	15,6	12,5	13,8	13,7	A	0,88	B	1,09
5	22.11	27,0	27,0	23,7	25,8	A	0,87	B	0,95
6	05.12	26,7	24,5	28,4	26,4	A	1,06	B	1,07
7	07.12	25,5	14,0	21,0	15,9	A	0,82	B	1,13
8	10.12	25,5	27,5	26,4	26,9	A	1,03	B	0,99
9	11.12	20,0	20,5	20,6	19,6	A	1,03	B	0,95
10	14.12	28,5	31,0	30,4	27,6	A	0,98	B	0,96
11	17.12	21,0	28,0	26,5	25,9	B	0,94	B	0,92
12	19.12	30,0	29,5	31,1	31,6	A	1,03	B	1,07
13	24.12	35,0	44,0	39,9	39,9	M	1,01	M	1,00
14	31.12	-	-	19,3	19,1	A	1,00	B	1,00
15	02.01	29,0	32,0	30,7	29,6	B	0,95	A	1,02
16	06.01	32,5	42,5	36,5	40,3	A	1,12	B	0,94
18	20.01	26,0	35,5	32,7	36,5	B	0,92	B	1,02
20	08.02	30,5	23,0	28,2	27,9	A	0,92	A	0,91
21	09.02	29,5	23,5	26,9	24,6	A	0,91	B	1,04
23	11.02	43,0	34,0	47,7	36,1	A	1,10	B	1,06
24	12.02	56,5	54,5	58,8	54,1	A	1,04	B	0,99
25	13.02	21,5	15,5	23,0	15,3	A	1,06	B	0,98
26	14.02	37,0	40,0	37,0	41,2	A	1,00	B	1,03
27	15.02	20,5	20,5	20,8	21,3	A	1,01	B	1,03
28	18.02	35,0	39,0	37,3	37,6	M	1,00	M	1,01
29	28.02	18,5	19,5	19,2	18,8	B	0,98	A	1,01
30	02.03	23,5	19,5	21,6	22,1	A	0,91	A	0,94
31	04.03	33,0	33,0	34,5	34,7	A	1,04	B	1,05
32	12.03	144,5	126,1	125,6	124,6	B	0,99	B	0,98
33	14.03	51,0	45,9	56,6	56,2	A	1,10	A	1,10
34	24.03	23,0	35,0	26,6	29,5	A	1,15	B	0,84
35	31.03	18,0	18,5	18,0	16,4	A	1,00	B	0,88
36	19.04	35,5	41,0	39,0	35,5	B	0,95	A	1,00
37	26.04	21,6	22,7	22,2	19,2	A	1,02	B	0,84

La valeur du corps moyen pour un bassin s'obtient enfin, par une affinité du rapport de la précipitation moyenne en 24 heures sur le bassin à la précipitation en 24 heures au seau du pluviographe choisi. Si, par exemple, le pluviographe A a été retenu pour le bassin NORD, on a :

$$C_N = \frac{CA \times P_N}{PA}$$

3.2.3 - Comparaison des lames ruisselées (tableau 7)

Les lames ruisselées L_N du bassin NORD sont reportées sur le graphique 3 en fonction des lames ruisselées L_S du bassin SUD.

Il s'établit entre les points une corrélation assez serrée pour les faibles lames ruisselées (inférieures à 3,5 mm) mais la dispersion des points est forte pour les fortes lames.

On effectue sur ces points une correction de l'écart du point par rapport à la courbe tracée en fonction de la différence des corps NORD et SUD pour l'averse correspondante.

Cette correction graphique fait l'objet du graphique 4. Elle nous permet de tracer la courbe de corrélation principale.

3.2.4 - Comparaison par rapport aux années antérieures

On constate que les petites crues n'ont guère évoluées sur le bassin NORD par rapport au bassin SUD tandis que la courbe correspondant aux fortes lames pour l'année 1974-1975 est bien plus basse que celle des années antérieures.

L'effet de la mise en culture a tendance à réduire considérablement les fortes crues tandis que les faibles crues sont conservées.
Cela s'explique par le fait que les petites crues proviennent de ruissellement localisé sur les zones de fortes pentes du bassin et ces zones, destinées au reboisement, n'ont pour l'instant guère subi de transformation, importantes, les arbres étant encore trop petits pour avoir un effet quelconque sur le ruissellement.

Gr_ 3

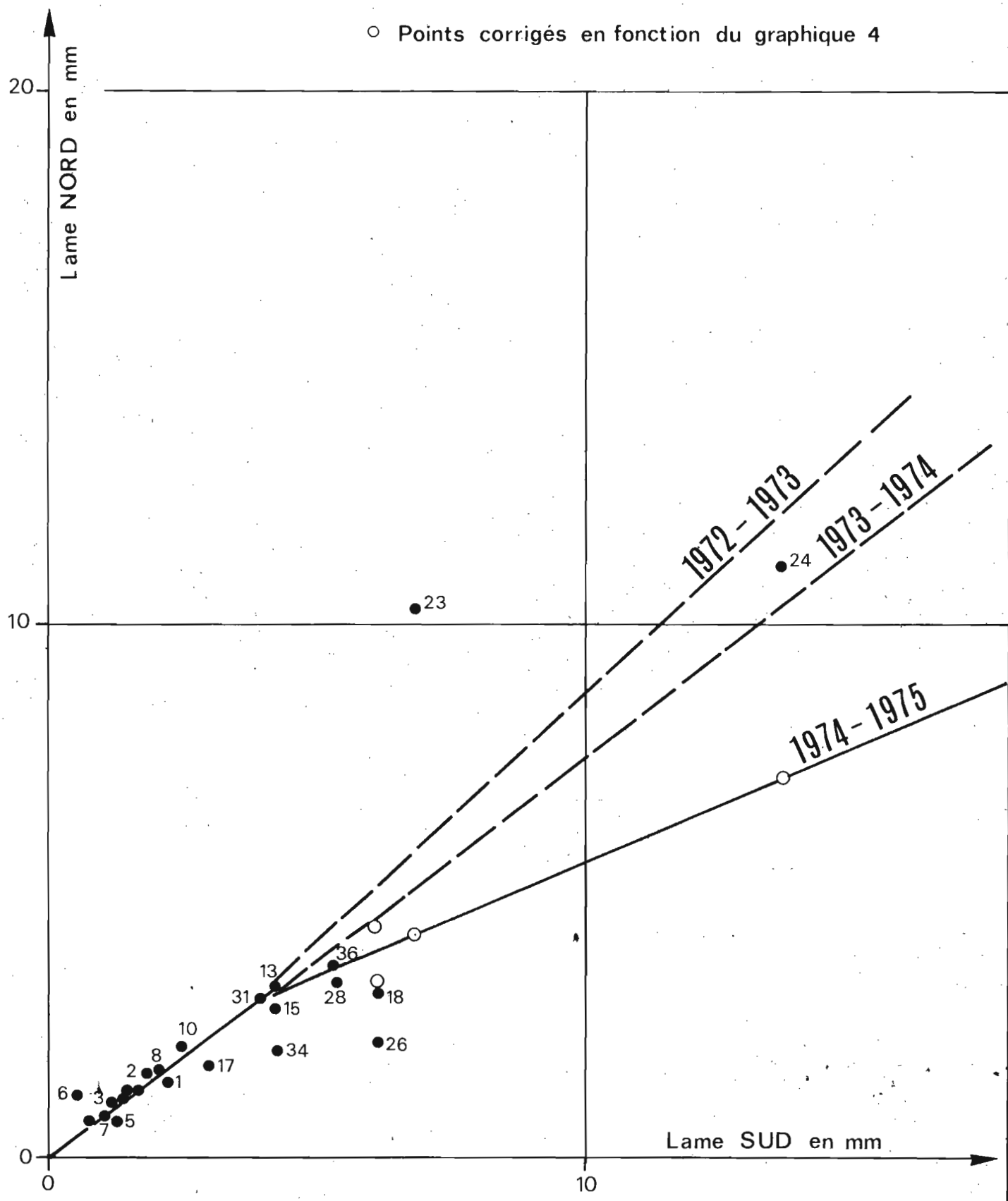
AMBATOMAINTY

Comparaison des lames ruisselées

Année 1974 - 1975

● Points bruts

○ Points corrigés en fonction du graphique 4

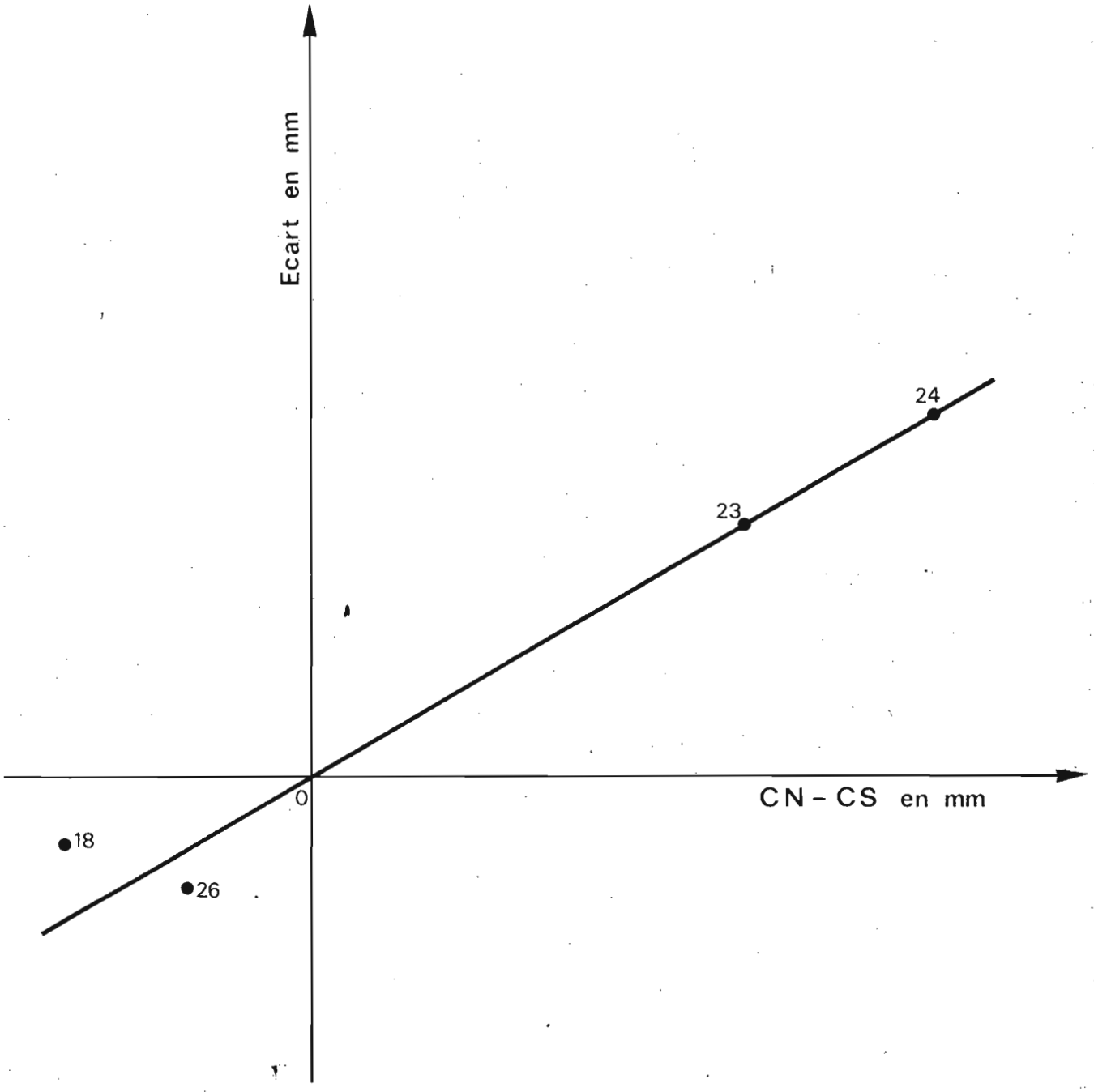


O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique | date 10.75 | des. D. JP | MAD- 171799

AMBATOMAINTY

Comparaison des lames ruisselées

Correction de l'écart à la courbe du graphique 3 par CN – CS



Les équations de la courbe de corrélation que nous avons représentées par deux droites, par raison de simplicité, sont les suivantes :

1°/ L_S < à 3,5 mm

$$L_N = 0,75\ L_S$$

2°/ L_S > à 3,5 mm

$$L_N = 0,43\ L_S + 1,2$$

la pente de la droite correspondant aux fortes lames est passée de 0,94 en 1972-1973 à 0,43 en 1974-1975.

3.2.5 - Comparaison des temps de montée (graphiques 5 et 6)

Comme pour les années précèdentes nous reportons le temps de montée de la crue en fonction de la lame ruisselée. Après avoir vérifié que les points minimums correspondent bien à des averses de courte durée quasi-unitaires, la courbe enveloppe minimale des points représente le temps de montée minimum ou temps de montée de l'hydrogramme unitaire en fonction de l'importance de la lame ruisselée.

On constate pour les deux bassins que le temps de montée unitaire décroit lorsque la lame ruisselée augmente et se stabilise autour d'une valeur minimale, la courbe ayant une tendance asymptotique horizontale. Cette tendance rend valide la théorie de l'hydrogramme standard pour les fortes crues.

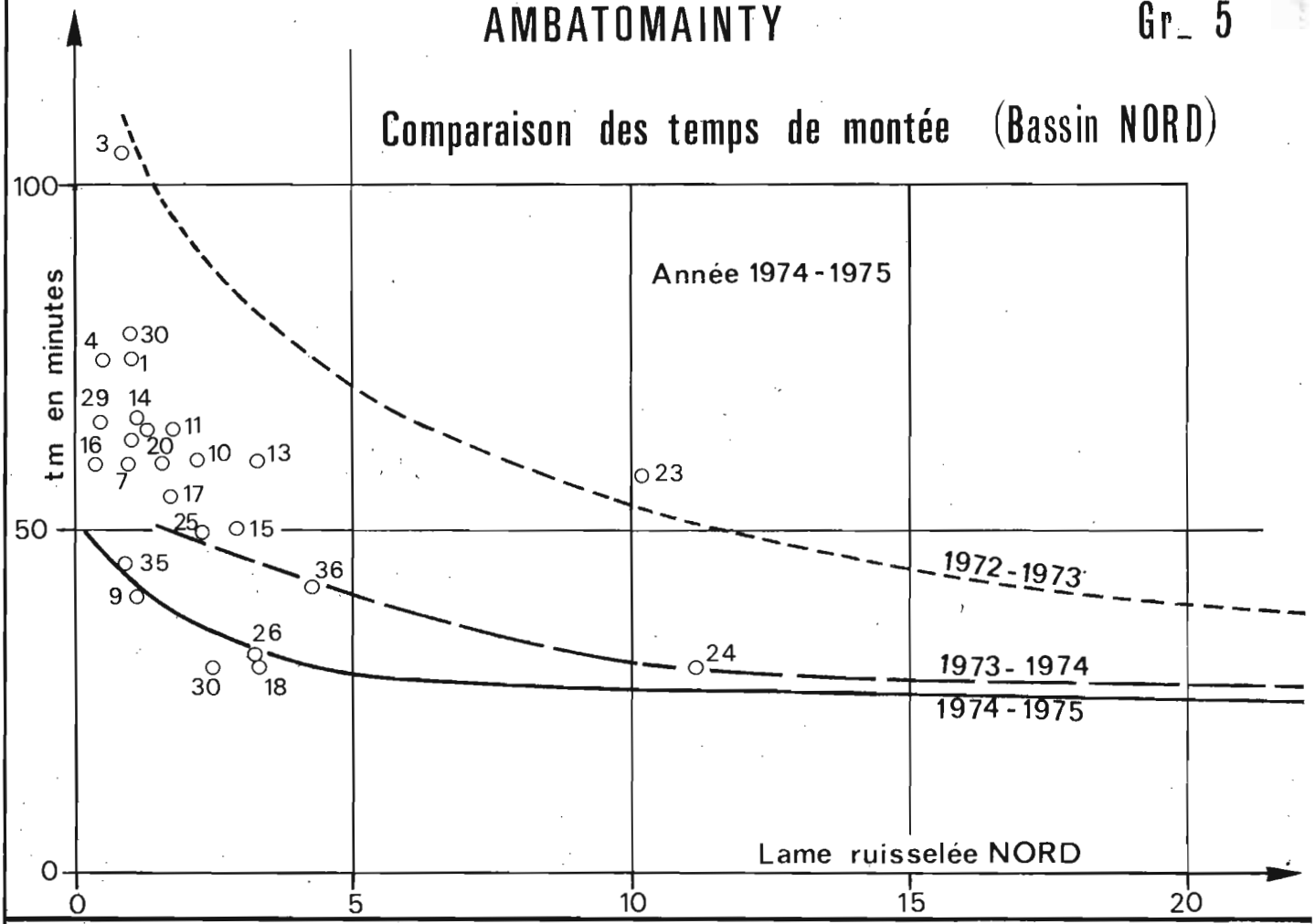
3.2.6 - Evolution du temps de montée

Les graphiques 5 et 6 montrent très bien l'évolution du temps de montée suivant les modifications entreprises sur les bassins.

AMBATOMAINTY

Gr_ 5

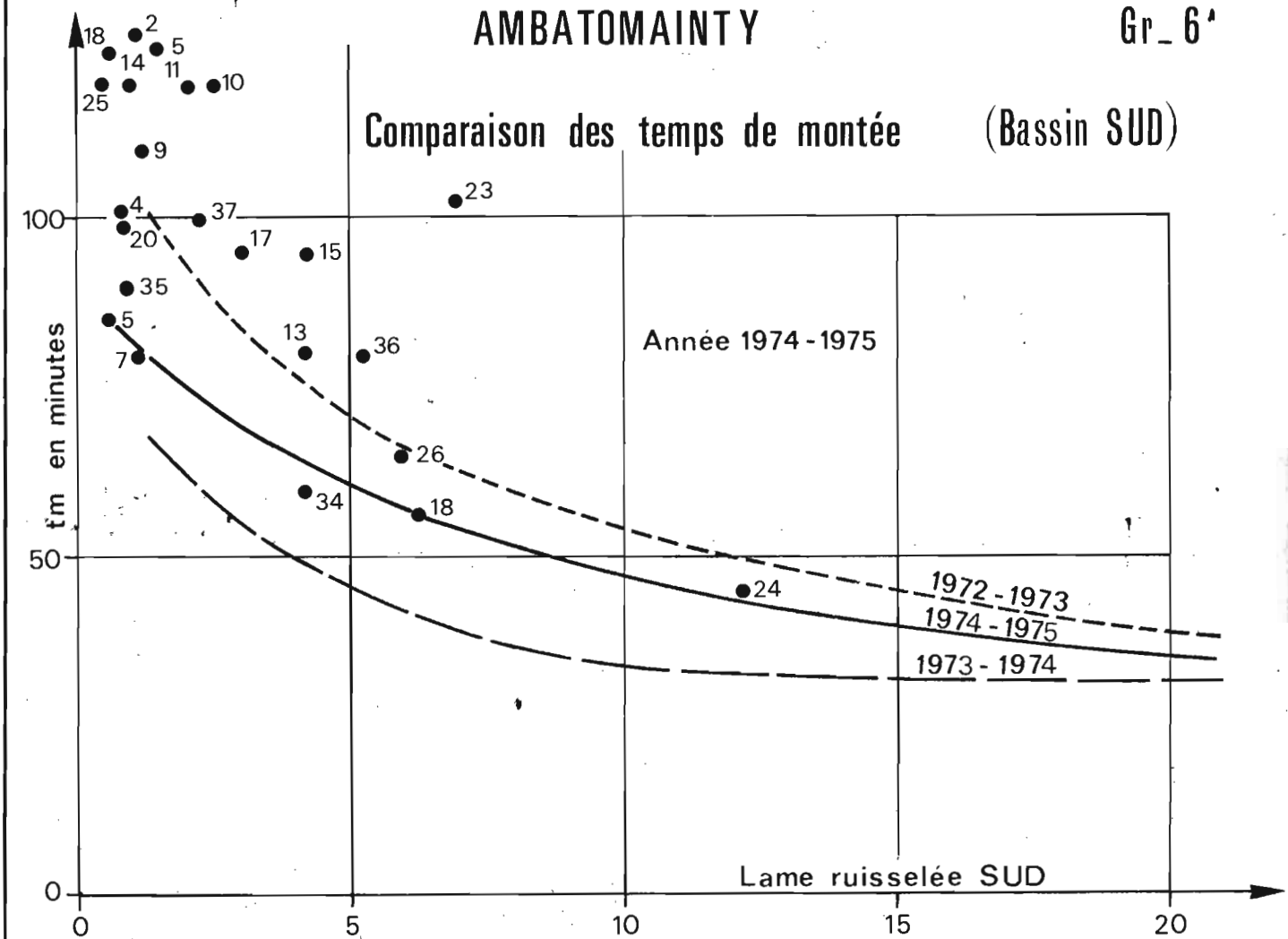
Comparaison des temps de montée (Bassin NORD)



AMBATOMAINTY

Gr_ 6'

Comparaison des temps de montée (Bassin SUD)



O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique | date 10-75 | des. D-JP | MAD- 171801

BASSIN SUD :

La courbe 1973-1974 après brûlis du bassin était beaucoup plus basse que la courbe 1972-1973 correspondant à un couvert végétal assez dense. (cf. rapport campagne 1973-1974).

Actuellement le bassin SUD, bassin témoin, revient à son état antérieur et la courbe 1974-1975 est située au milieu des deux courbes des années antérieures. L'action du brûlis effectué au mois de Novembre 1973 est presque effacée.

BASSIN NORD :

La courbe 1973-1974 était également très en dessous de la courbe 1972-1973, courbe correspondant au couvert végétal naturel. Cet abaissement de la courbe était en grande partie dû au brûlis effectué sur ce bassin à la même date que celui effectué sur le bassin SUD, les cultures étant limitées à l'époque à une superficie de deux hectares.

La courbe 1974-1975, contrairement à celle du bassin SUD est encore cette année plus basse que celle de l'année 1973-1974 et ce résultat est une première divergence constatée entre les deux bassins et est consécutive aux aménagements agricoles effectués sur le bassin. Il y a deux raisons pratiques à cette évolution :

- la rizière a été aménagée selon des principes rationnels et s'éloigne essentiellement des rizières traditionnelles par le fait qu'elles sont isolées du ruissellement par un réseau de drains approprié. Ce réseau est plus efficace que le réseau hydrographique naturel et il en résulte une certaine concentration des crues et plus particulièrement des petites crues.

- l'aménagement des versants en parcelles situés sur la périphérie du bassin revient à réduire la superficie du bassin puisque ces parcelles ne ruissellent pratiquement plus. Cette tendance devrait être annulée sitôt que les arbres auront une végétation suffisante pour atténuer le ruissellement sur les zones de forte pente où ils ont été implantés.

3.2.7 - Etude de l'infiltration sous des précipitations d'intensité saturante

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 de 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.

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

$$K = \frac{PI + Cl}{PI + C}$$

B est la quantité d'eau totale 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 1974-1975 sur le BASSIN SUD

Comme pour les années précèdentes nous n'avons retenu parmi les crues obtenues pendant cette saison des pluies que celles dont la lame d'eau dépasse 1 mm, les crues plus faibles ne concernant qu'une partie trop restreinte du bassin (fortes pentes entourant le bas fond).

Les corrélations de la quantité d'eau infiltrée pendant le corps d'averse (C - L) en fonction du temps du corps d'averse avec correction par le coefficient de forme de la pluie K selon les mêmes principes que pour les années précèdentes sont représentées sur les graphiques 7 et 8 (tableau 9).

Il existe pour certains points une dispersion résiduelle importante qui s'explique mal. Signalons toutefois que le point 18 correspond à une averse très hétérogène suivant un axe transversal aux bassins avec un corps d'averse correspondant sur le bassin NORD de 22,5 mm seulement contre 33,9 sur le bassin SUD.

L'équation obtenue sur le bassin SUD est la suivante :

$$\text{BASSIN SUD} \quad : \quad C - L = \frac{1,12}{5} T + 13 \left(1 - \frac{K}{75}\right) \qquad K \text{ en } \%$$

Comparaison avec les résultats des années précèdentes

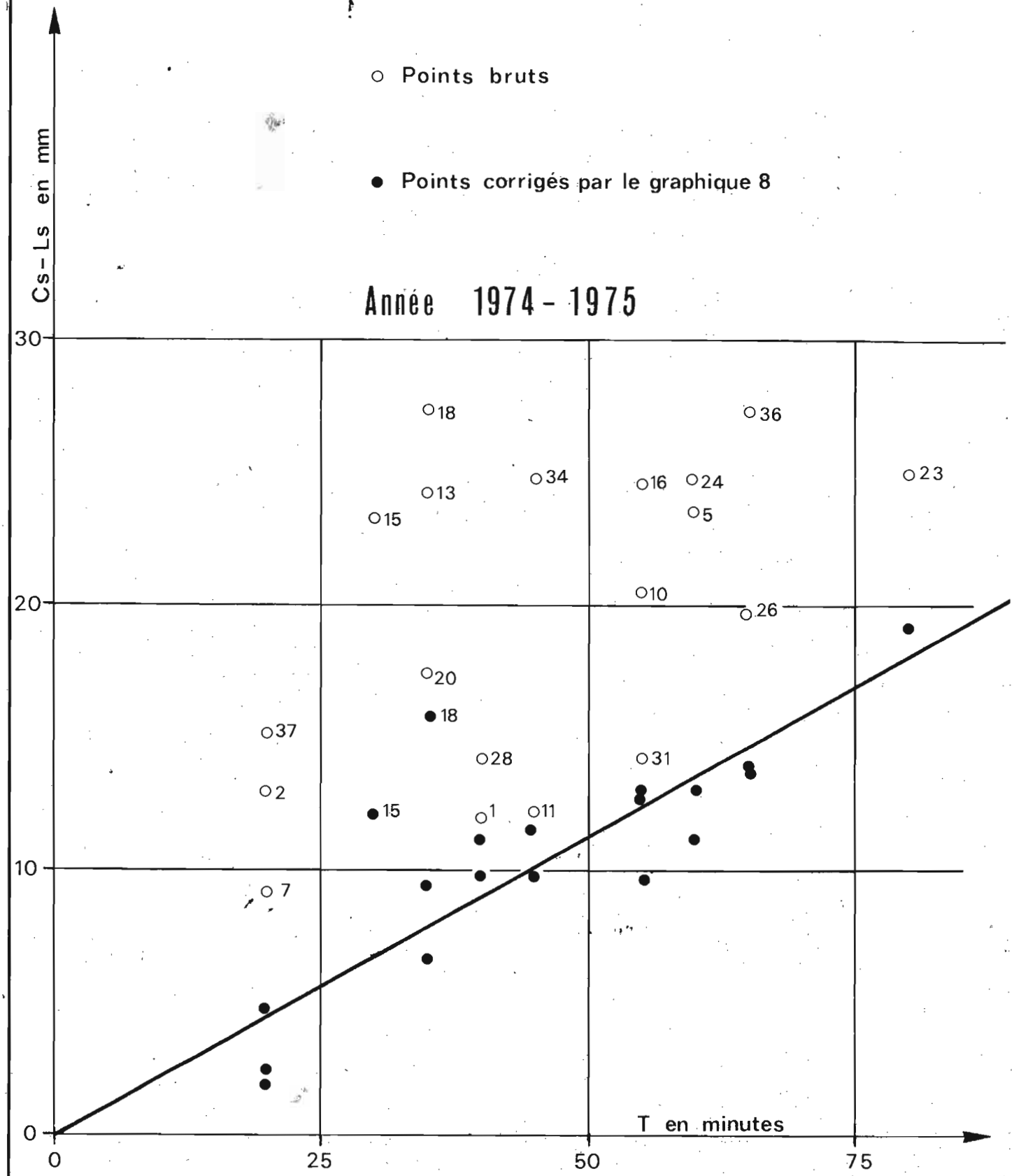
Les légères variations observées sur la courbe de correction (8,5 mm en 1972-1973, 12,2 en 1973-1974 et 13,0 en 1974-1975 pour la valeur du STOCK B) sont plutôt imputables à la fluctuation de l'échantillon annuel de la population des crues, qu'à une modification réelle du comportement au ruissellement du bassin SUD.

AMBATOMAINTY

Gr_ 7

Infiltration sous des précipitations d'intensité saturantes

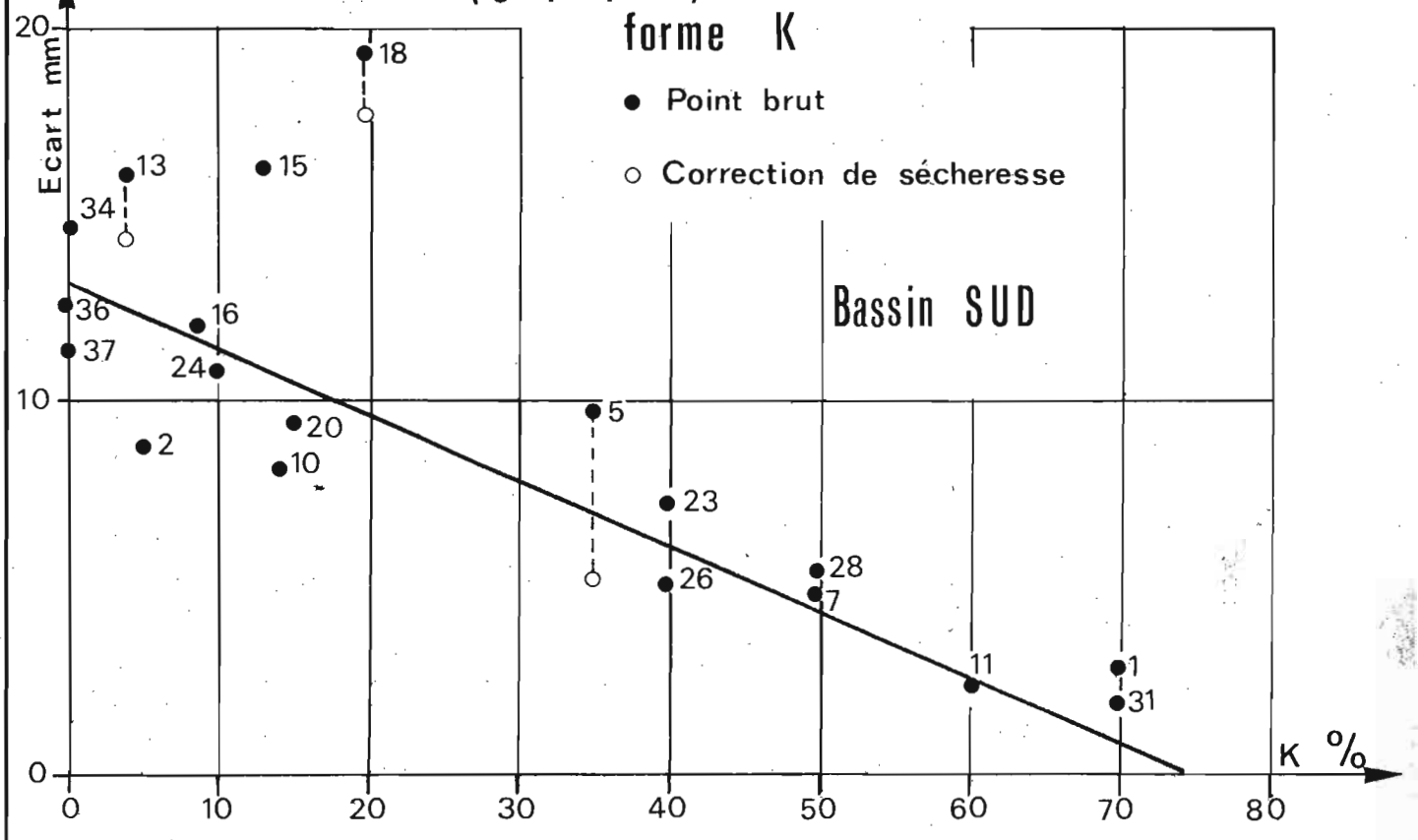
Bassin SUD



O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique	date	des.	MAD - 171802
	10-75	D-JP	

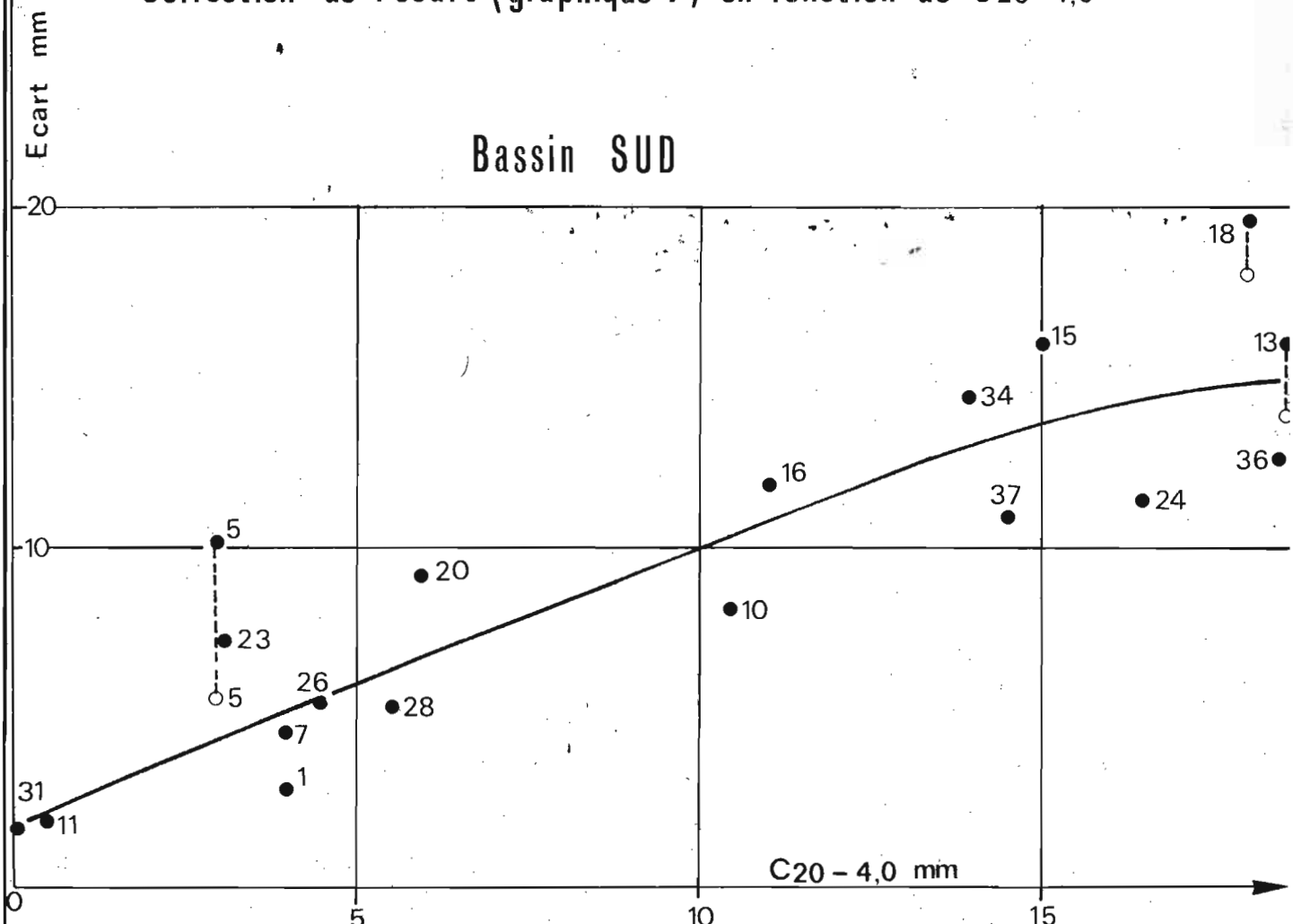
Gr_ 8

Correction de l'écart (graphique 7) en fonction du coefficient de forme K



Gr_ 9

Correction de l'écart (graphique 7) en fonction de $C_{20-4,0}$



O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique	date	des.	MAD– 171803
	11-75	D-JP	

Tableau n° 9

B.V.E. d'AMBATOMAINTY

S U D

Infiltrations sous des intensités saturantes

Année 1974 - 1975

N°	Date	C_S	L_S	$C_S - L_S$	T_S	K_S	$C_{20} - 4,0$
1	24.10	13,1	2,0	12,0	40	0,70	5,0
2	30.10	14,6	1,0	13,0	20	0,05	14,0
5	22.11	24,4	1,3	23,1	60	0,35	3,0
7	07.12	10,2	1,1	9,1	20	0,50	4,0
9	11.12	16,7	1,2	15,5	35	0,12	9,5
10	14.12	23,1	2,5	20,6	55	0,14	10,5
11	17.12	16,2	2,0	14,2	45	0,60	0,5
13	24.12	28,6	4,2	24,4	35	0,04	18,5
15	02.01	27,7	4,2	23,5	30	0,13	14,5
16	06.01	28,4	3,6	24,8	55	0,07	11,0
18	20.01	33,9	6,2	27,3	35	0,20	18,0
20	08.02	18,5	0,9	17,6	30	0,13	6,0
23	11.02	31,9	6,8	25,0	80	0,40	3,0
24	12.02	38,2	13,6	24,6	60	0,10	16,5
26	14.02	25,7	6,1	19,6	65	0,40	4,5
28	18.02	17,4	3,3	14,2	40	0,50	5,5
31	04.03	15,2	0,9	14,3	55	0,70	0,0
34	14.03	29,1	4,3	24,8	45	0,0	14,0
36	19.04	32,5	5,3	27,2	65	0,0	18,5
37	26.04	17,3	2,2	15,1	20	0,0	14,5

Disons que, pendant la durée de l'étude, il n'y a pas eu de modification perceptible de rendement au ruissellement du bassin SUD au niveau de précision de notre analyse qui n'est malgré tout pas très élevée.

3.2.8 - Correction de l'écart en fonction de la quantité de la fraction de pluie excédentaire au seuil, tombée pendant les 20 premières minutes du corps d'averse

Le coefficient de forme de l'averse est un paramètre global dont la signification est assez arbitraire pour certains types d'averses "rectangulaires" lorsque les intensités du corps d'averse varient peu.

Afin de préciser le comportement au ruissellement de nos bassins il nous a paru intéressant de reporter les écarts des points du graphique 7 à la courbe en fonction de la fraction de pluie supérieure au SEUIL, précipitée pendant les vingt premières minutes du corps d'averse.

Si on appelle C_{20} la pluie précipitée pendant les vingt premières minutes, cette fraction de pluie est égale à $C_{20} - 4,0$ puisque l'intensité du seuil retenu est de 1 mm en 5 minutes. La corrélation obtenue est assez serrée et nous parait intéressante.

En effet, on constate que l'écart par rapport à la droite AT du graphique 7, écart qui représente la quantité d'eau infiltrée en plus de la quantité AT, en début d'averse pour amener le sol de l'état de retention à l'état de saturation est variable.

Cet écart est dans la première partie de la courbe a peu près égal à la valeur de $C_{20} - 4,0$. Il se stabilise ensuite pour les fortes valeurs de $C_{20} - 4,0$ aux environs de 15 mm.

Ce résultat signifie que la quantité d'eau absorbée par le sol en début d'averse, en plus de l'infiltration minimale, est proportionnelle à la fraction d'averse qui précipite en début de corps d'averse supérieure au seuil et que ce n'est qu'au delà de 15 mm qu'apparait le ruissellement.

L'infiltration au cours d'une averse se décompose schématiquement en deux parties :

- une quantité d'eau correspondant à l'infiltration minimum AT
- une quantité d'eau supplémentaire B qui s'infiltre pendant les vingt premières minutes du corps d'averse et qui apparait comme aléatoire puisque liée à la fraction d'eau précipitée pendant ces vingt minutes et supérieure au seuil tant que cette quantité d'eau ne dépasse pas 15 millimètres.

Cela voudrait dire que la courbe de capacité d'absorption décroît très rapidement pendant les vingt premières minutes du corps de l'averse pour se stabiliser à la valeur A et que cette évolution est toujours la même et est indépendante de la quantité d'eau fournie en plus d'une certaine quantité minimale nécessaire pour provoquer l'évolution.

En d'autres termes, on arrive au résultat paradoxal suivant, que la quantité d'eau infiltrée pendant les vingt premières minutes du corps d'averse est d'autant plus forte que les intensités en début d'averse sont fortes.

Ce résultat est étrange et nous l'expliquons mal. Il serait peut être lié à des phénomènes de macro perméabilité, provoqués par la végétation par exemple, et qui seraient transitoires en début d'averse.

Ce résultat tient peut être au fait que nous raisonnons sur un schéma d'infiltration global à l'échelle d'un bassin versant qui est l'intégration de processus ponctuels de l'infiltration différents suivant la pente et la nature du sol.

C H A P I T R E V

Variation des stocks en eaux souterraines

5.1 - VARIATION DE L'HUMIDITE DES SOLS

5.1.1 - Rappel des résultats obtenus sur les mesures 1973 (graphique 10)

Dans le rapport 1973-1974, nous avions effectué un travail assez élaboré de critique des mesures obtenues et défini les modalités d'exploitation de ces mesures. Nous rappelons ici brièvement les résultats obtenus.

5.1.1.1 - Critique des mesures et du matériel employé

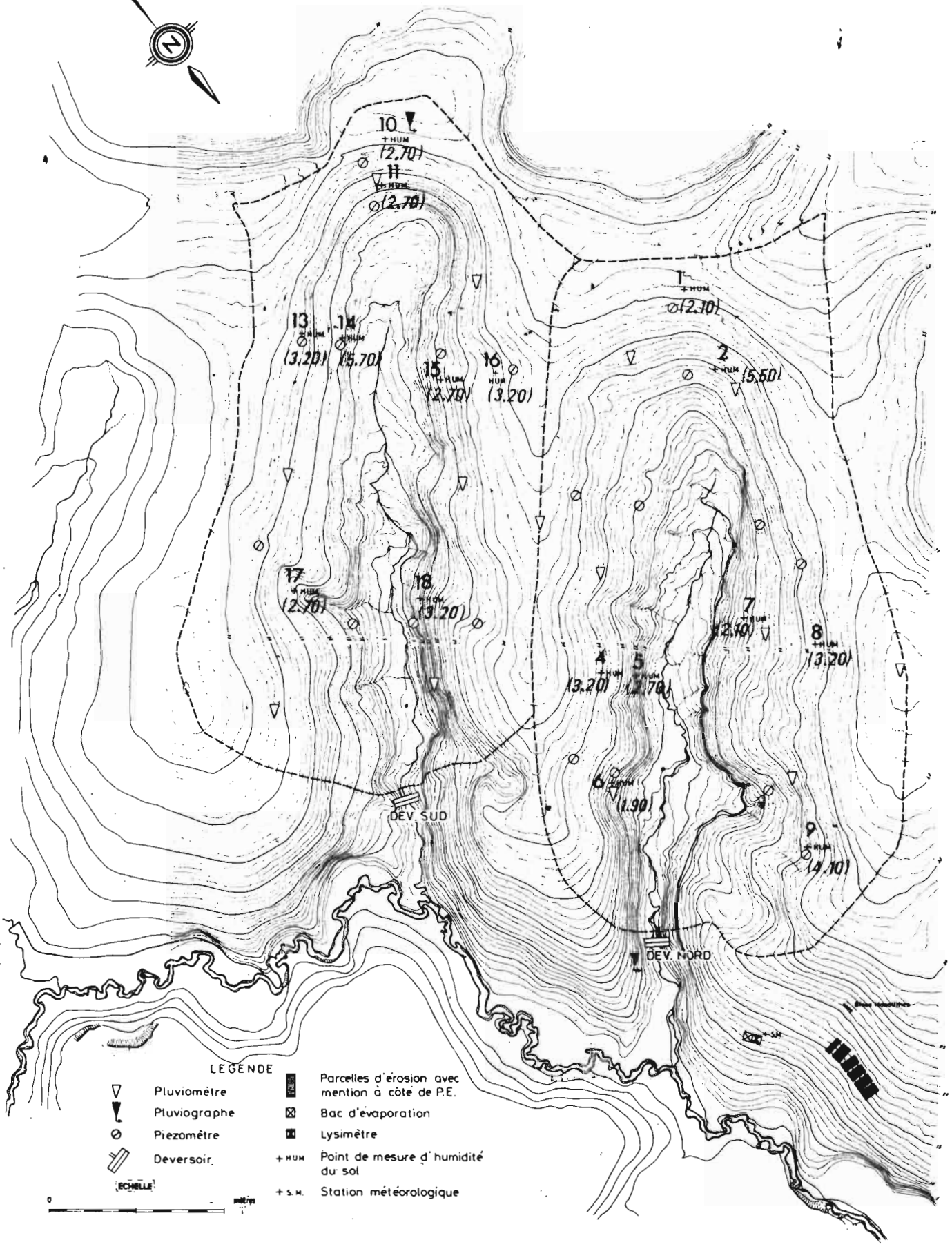
La sonde à neutrons mesure la quantité d'eau totale se trouvant dans le sol (eau liée, eau de constitution, eau libre) et la variation d'humidité s'obtient par différence de deux mesures consécutives.
Sur les bassins d'AMBATOMAINTY, la variation annuelle d'humidité des sols, pour les tranches de sol dépassant un mètre de profondeur, peut ne représenter que 10 % du comptage total d'impulsions. Il s'ensuit qu'un léger défaut de l'appareil peut entrainer sur la variation d'humidité une dispersion importante. Or, si l'appareil se révèle sensible, il n'est, par contre, pas très fidèle.

Le comptage d'impulsion est soumis à une dérive journalière liée à la température du dispositif de comptage des neutrons réfléchis ou de la source d'émission des neutrons. Il est également vraisemblable que la source émettrice émette une quantité de neutrons légèrement variable autour d'une valeur constante et la pseudopériode de ces fluctuations pourrait dépasser l'échelle de la journée. L'ensemble de ces défauts de fidélité peut entrainer une erreur systématique sur un ensemble de mesures de l'ordre de 1 à 2 %.

B.V.E d'AMBATOMAINTY

Gr_ 10

Carte des sites de mesures d'humidité des sols



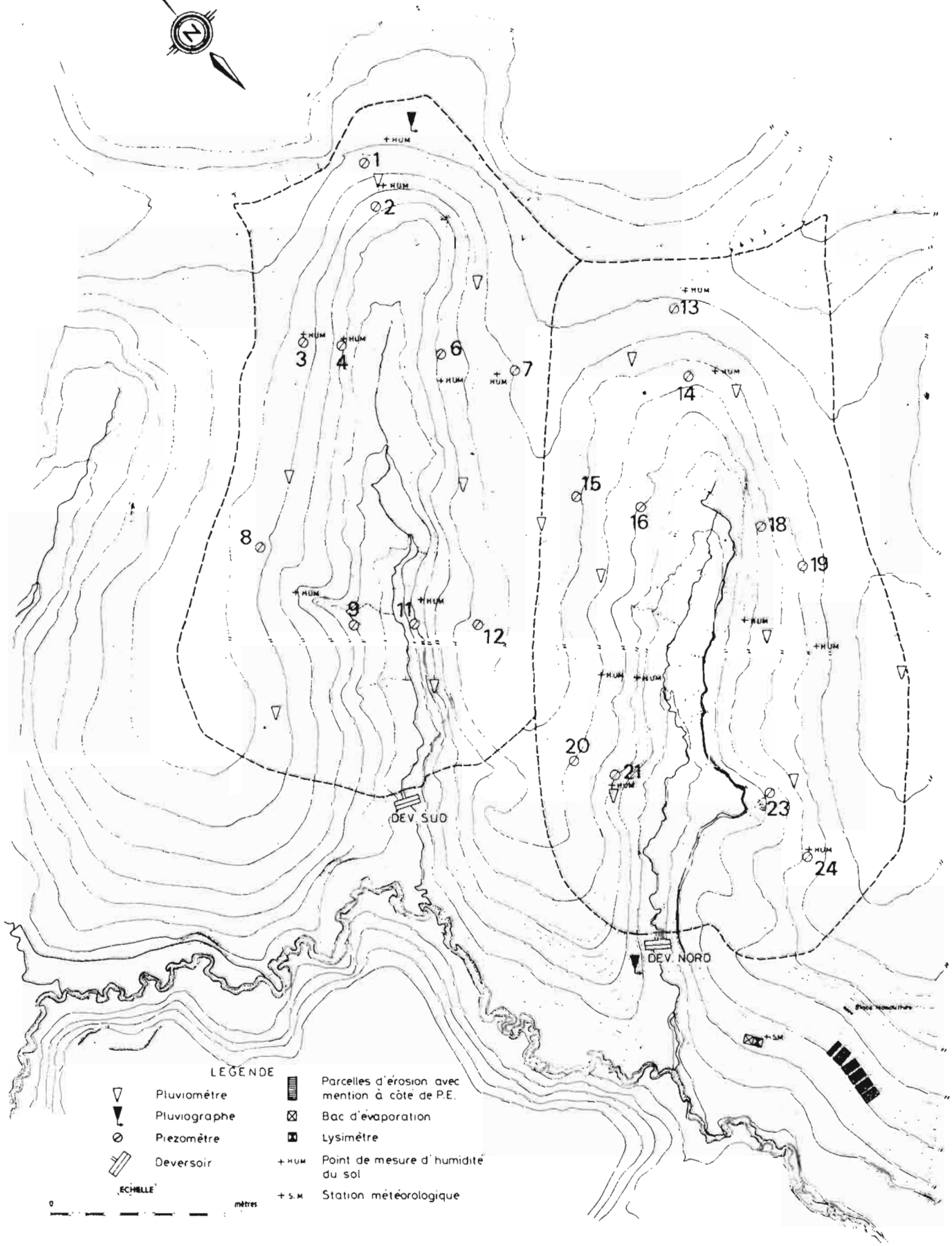
(La profondeur de chaque profil est indiquée entre parenthèse)

O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique	date	des.	MAD- 171804
	11-75	D-JP	

B.V.E d' AMBATOMAINTY

Gr_11

Carte de situation des piézomètres



O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique	date	des.	MAD-171805
	11-75	D-JP	

Or ces 1 à 2 % rapportés à l'amplitude de la variation d'humidité peuvent, dans certains cas, entrainer une erreur possible de 10 % à 20 % sur la variation annuelle d'humidité ; il s'ensuit que la variation d'humidité a un seul site sur une courte période n'est généralement pas significative.

On obtient de meilleurs résultats en travaillant sur des moyennes spatiales et une bonne exploitation de ces mesures est soumise aux lois restrictives suivantes :

- 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 signigicative que sur une période d'un mois en période de variation rapide.

5.1.1.2 - Comportement hydrique des sols (sous couvert végétal naturel)

On observe deux tendances différentes :

a) - variation de large amplitude dans une première tranche de surface d'épaisseur variable suivant les profils, mais valant en moyenne 60 cm. Cette variation est d'autant plus forte qu'on se rapproche de la surface. Elle représente les échanges du sol avec l'atmosphère par évapotranspiration ; l'état du sol descend dans cette tranche au-dessous de l'état de rétention.

b) - variation d'ensemble du profil au-dessous des premiers 60 cm dont l'amplitude décroît progressivement jusqu'à la nappe phréatique.

Ces variations traduisent une percolation vers la nappe phréatique ou un ressuyage des sols avec restitution à la rivière par drainage hypodermique.

Les tranches sols correspondantes passent de l'état de saturation en fin de saison des pluies, à l'état de rétention puisque aucune ponction n'est opérée sur ces tranches, les racines du couvert végétal actuel n'excèdant pas 60 cm en moyenne.

5.1.1.3 - Hétérogénéité spatiale des variations des tranches profondes

La capacité de stockage moyenne par tranche de sol est liée au type de sol rencontré. Nous avons pu établir une corrélation entre la variation d'humidité annuelle moyenne par tranche et par site, et la nature du matériau représenté par la valeur moyenne annuelle pour la même tranche et au même site du comptage d'impulsions. Cette corrélation est représentée sur le graphique 12.

On voit que la variation annuelle d'humidité peut varier d'une tranche à l'autre et d'un site à l'autre de 1,5 à 8 mm d'eau (pour 10 cm de sol) et qu'elle est d'autant plus forte que le comptage moyen d'impulsion est faible.

On en déduit que la répartition spatiale de la variation annuelle d'humidité est liée à la nature du matériau et peut être considérée comme aléatoire en raison de l'hétérogénéité à petite échelle de ce matériau.

La variation moyenne sur l'ensemble des 18 profils observés est de 50 mm d'eau pour 1 mètre de sol entre les cotes -0,5 et -4,0 mètres par rapport à la surface.

5.1.2 - Résultats 1974

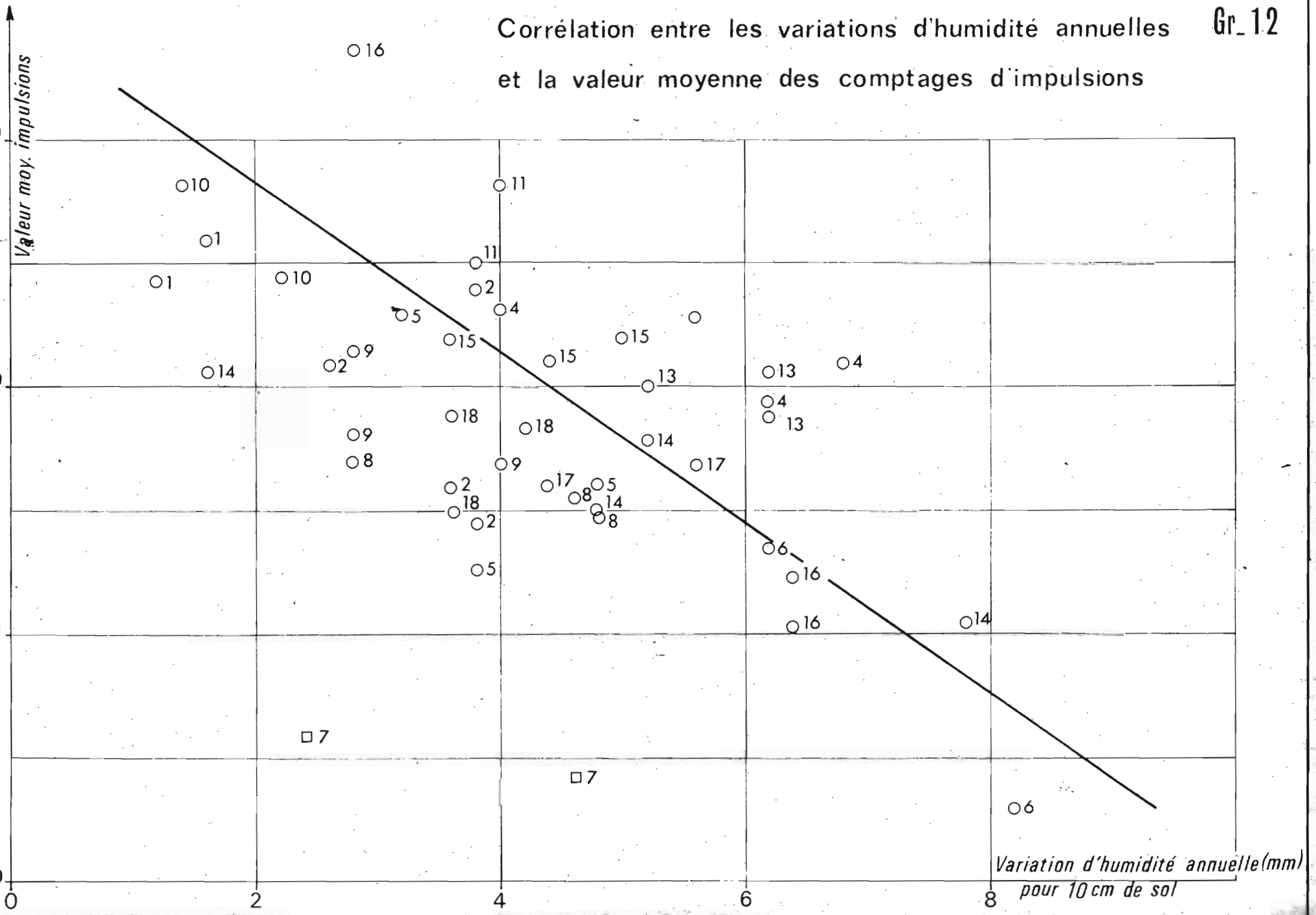
Le tableau 11 donne les variations d'humidité moyennes de tranches superficielles pour les bassins NORD et SUD.

Le graphique 13 représente l'évolution de l'humidité de la tranche superficielle 0-55 cm.

Les deux courbes suivent une même évolution aux écarts près observés à certaines dates et dus aux pluies qui ont précipité entre les deux séries de mesures qui sont décalées d'un jour.

Gr_12

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



O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date 11-75 des. D-JP

MAD- 171806

O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique
date 10-75 des. D-JP
MAD- 171807

Variation d'humidité des sols

Tranche 0_55cm

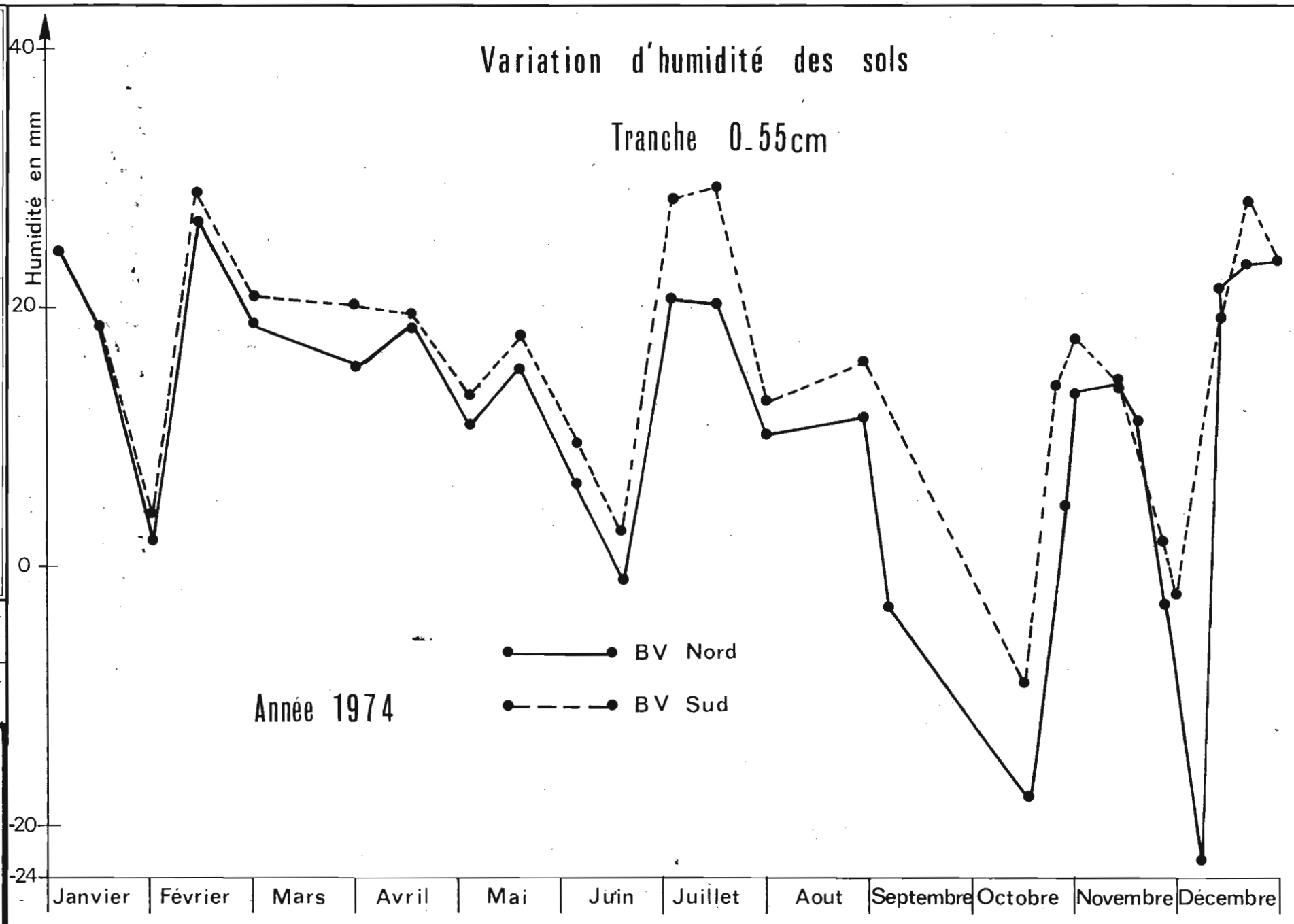


Tableau n° 11

B.V.E. d'AMBATOMAINTY

Variations moyennes d'humidité dans les tranches superficielles du sol

(en mm)

Année 1974

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.
05 Janv	- 21	- 21	- 18	- 6	82	24	- 39	- 27	242	247
14 Janv	- 22	- 32	- 35	- 33	- 47	- 45	- 57	- 65	185	182
31 Janv	- 93	- 93	- 69	- 47	- 36	- 53	-162	-140	23	42
12 Févr	126	133	107	111	89	109	233	244	256	286
28 Févr	- 27	- 37	- 41	- 38	- 65	- 71	- 68	- 75	188	211
01 Avril	- 23	8	- 9	- 16	- 6	3	- 32	- 8	156	203
16 Avril	25	- 10	6	3	- 9	- 3	31	- 7	187	196
03 Mai	- 48	- 35	- 34	- 27	- 49	- 50	- 82	- 62	105	134
18 Mai	28	26	24	20	36	38	52	46	157	180
05 Juin	- 33	- 31	- 55	- 58	- 64	- 57	- 88	- 89	69	91
21 Juin	- 44	- 28	- 35	- 36	- 23	- 9	- 79	- 64	- 10	27
07 Juil	130	125	95	130	13	47	225	255	215	282
15 Juil	- 22	0	13	9	47	40	- 9	9	206	291
30 Juil	- 67	- 9	- 33	- 60	- 21	- 55	-100	-159	106	132
21 Août	39	35	- 25	- 5	- 35	- 18	14	30	120	162
04 Sept	-118		- 34		- 14		-152		- 32	
17 Oct	- 71	-184	-68	- 66	- 70	- 79	-139	-250	-171	-88
25 Oct	146	159	71	70	4	26	217	229	46	141
31 Oct	15	16	76	24	41	53	91	40	137	181
07 Nov	- 20	- 36	23	4	129	81	3	- 32	140	149
14 Nov	- 5	26	- 41	- 21	- 52	- 45	- 46	5	92	154
21 Nov	- 69	- 96	- 39	- 39	- 14	- 34	-108	-135	- 16	19
28 Nov	- 19	- 46	4	5	- 14	- 4	- 15	- 41	- 31	-22
05 Déc	-122	123	- 63	- 5	- 22	- 14	-185	118	-216	96
12 Déc	263	21	166	82	137	110	429	103	213	199
19 Déc	20	56	- 5	30	12	44	15	86	228	285
27 Déc	- 6	- 31	9	- 19	2	- 14	3	- 50	231	232

5.1.3 - Réhumidification du sol en début de saison des pluies

Aux mois de Novembre et Décembre 1973, nous avons suivi jour après jour l'évolution du profil hydrique du point de mesure n° 6.

Le graphique 14 représente l'évolution de l'humidité pendant cette période des tranches 0-25, 25-55, 55-85, 85-115, 115-145 (cm).
Certaines variations ne sont pas significatives mais ce graphique permet cependant de faire quelques constatations :

- la première tranche qui était très sèche avant l'averse du 6 Novembre est immédiatement saturée au cours de cette averse.

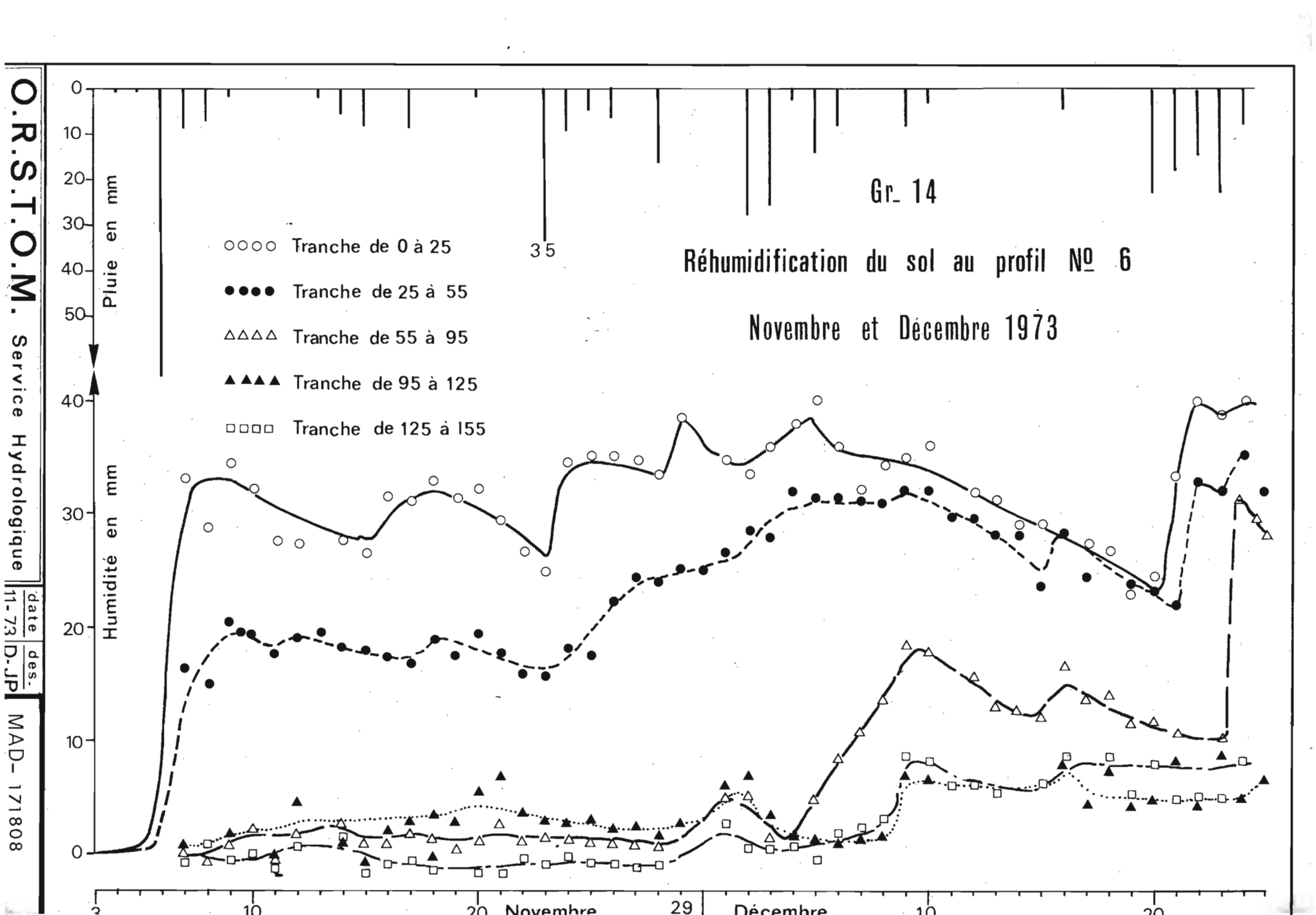
- la deuxième tranche est partiellement humidifiée au cours de cette averse et continue de s'humidifier progressivement du 23 Novembre au 7 Décembre, les précipitations étant abondantes pendant la même période.

- la troisième tranche qui se trouvait également au-dessous de l'état de rétention ne commence à se réhumidifier qu'à partir du 4 Décembre.

- les tranches profondes qui étaient déjà humides évoluent peu pendant toute la durée de la phase de réhumidification.

Du 10 au 20 Décembre, on assiste à une phase de réassèchement qui concerne les trois premières couches superficielles. A partir du 25 Décembre toutes les couches sont saturées.

La vitesse de percolation sur sol initialement assez sec ne dépend que de l'abondance des précipitations, la percolation ne pouvant progresser que lorsque les couches supérieures sont saturées. Toutefois en période peu pluvieuse, on observe une légère percolation progressive vers les tranches inférieures provenant du ressuyage des tranches supérieures.
C'est ce qui se passe sur la troisième tranche 55-85 cm qui se réhumidifie progressivement du 4 au 10 Décembre alors que les précipitations sont peu abondantes.



O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique | date 11-73 | des. D-JP | MAD- 171808

5.2 - LA NAPPE PHREATIQUE

5.2.1 - Contrôle de la nappe (cf. rapport 1973)

Le volume aquifère de la nappe phréatique est déterminé par calcul mécanographique à partir d'une moyenne pondérée des cotes piézométriques aux différents piézomètres, rapportées à un plan de référence arbitraire qui est l'origine des cotes du bassin. (graphique 11)

$$V = \text{sommes des } ai\ Hi$$

ai = aires de pondération
Hi = cotes des piézomètres

La détermination des coefficients de pondération s'inspire de la méthode de Thiessen : les superficies des bassins sont découpées en aires autour de chaque piézomètre délimitées par des courbes qui sont grossièrement parallèles ou perpendiculaires aux isopièzes. (graphique 15)

Les variations de volume de l'aquifère de la nappe, entre différentes époques de l'année, calculées par cette méthode ont été comparées en 1973 à celles calculées directement à partir des surfaces piézométriques déterminées par planimétrage des surfaces comprises entre les isopièzes.

Cette comparaison avait permis l'ajustement de ces coefficients de pondération par un paramètre d'ajustement permettant ainsi une meilleure restitution des variations réelles.

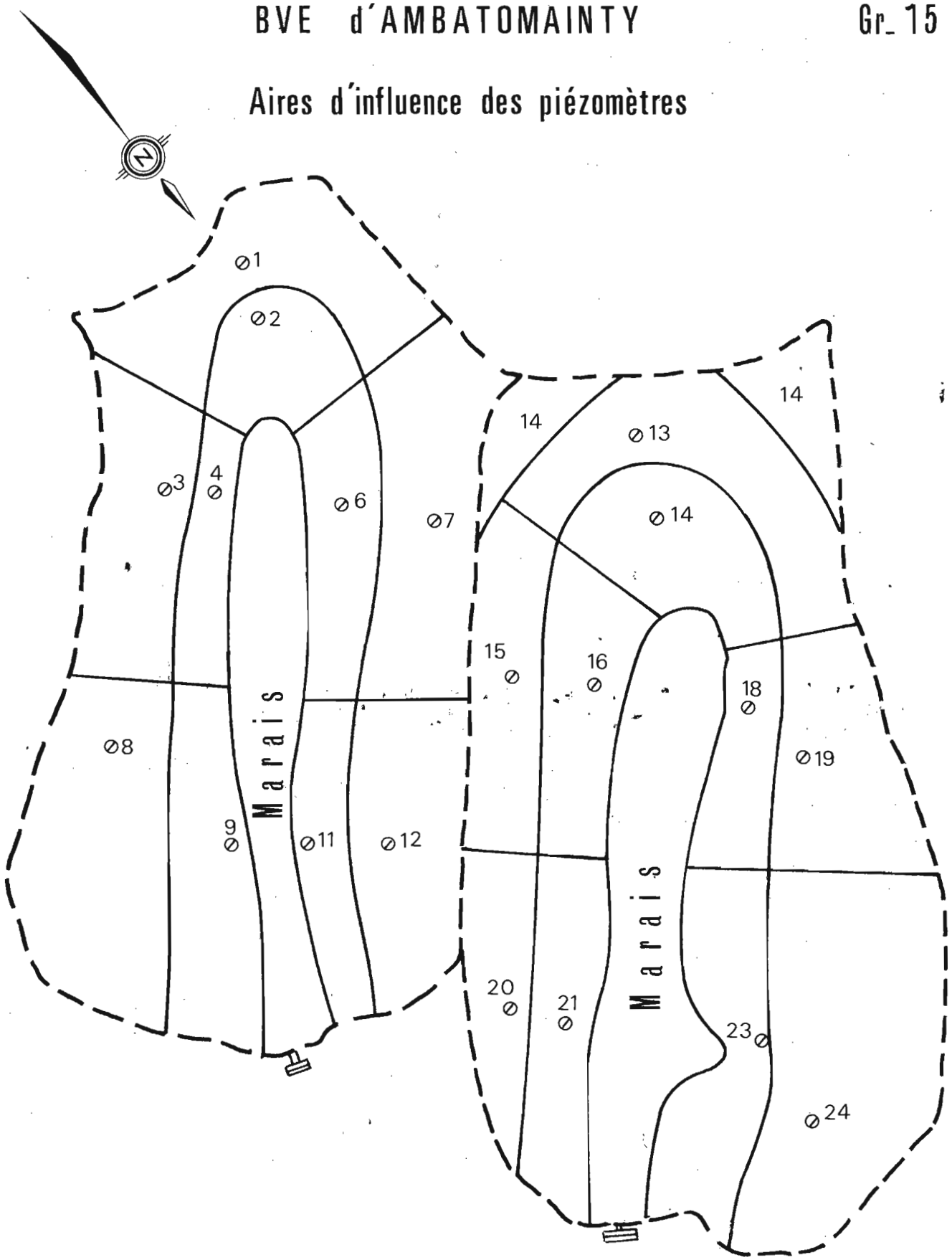
Les variations de ce volume sont représentées sur les graphiques 16 et 17.

On voit que la courbe 1974 de variation du volume de l'aquifère de la nappe du bassin NORD reste au-dessous de la courbe 1973 alors que sur le bassin SUD les deux courbes sont confondues.
Nous n'expliquons pas cette anomalie et ne pensons pas qu'elle soit liée aux aménagements du bassin NORD.

BVE d'AMBATOMAINTY

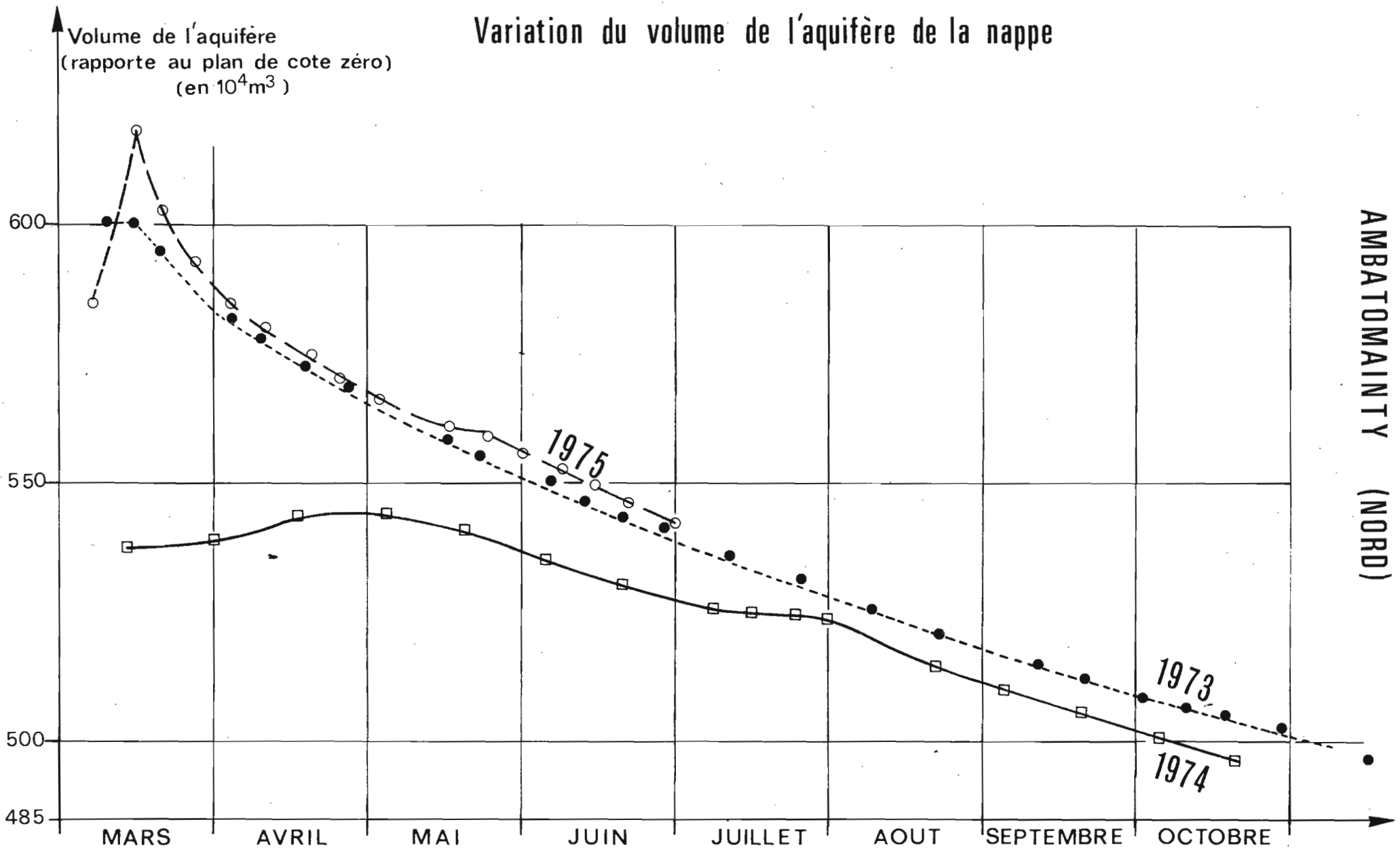
Gr_15

Aires d'influence des piézomètres



Gr_ 16

Variation du volume de l'aquifère de la nappe

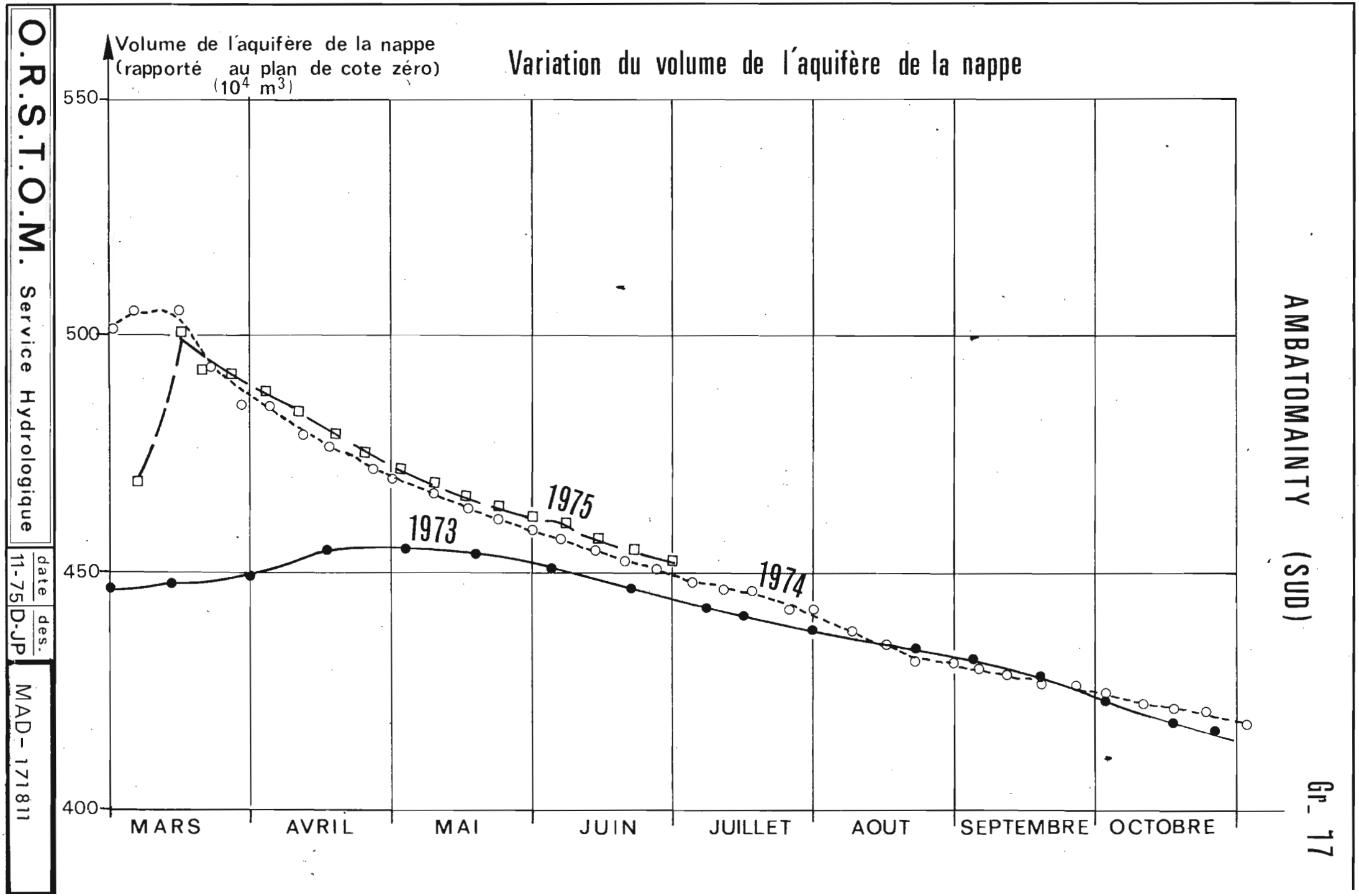


AMBATOMAINTY (NORD)

O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date 11-75 | des. D-JP

MAD- 171810



Variation du volume de l'aquifère de la nappe
Volume de l'aquifère de la nappe
(rapporté au plan de cote zéro)
(10^4 m^3)
550
500
450
400
1973
1974
1975
MARS
AVRIL
MAI
JUIN
JUILLET
AOUT
SEPTEMBRE
OCTOBRE
AMBATOMAINTY (SUD)
Gr_ 17
O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique
date 11-75
des. D-JP
MAD- 171811

5.2.2 - Définition d'un "coefficient d'emmagasinement apparent de la nappe"

Afin de permettre des bilans hydriques saisonniers, il était nécessaire de pouvoir convertir des variations de volume de l'aquifère en quantité d'eau.

En 1973 nous avons pu établir des corrélations entre les variations de volume de l'aquifère de la nappe entre certaines périodes de l'année, et les débits de base mesurés à l'exutoire des bassins.

Les périodes avaient été choisies entre le 14 Mars et le 6 Juin 1973, époque de l'année au cours de laquelle la phase de ressuyage était terminée, et où les précipitations étaient insuffisantes pour réalimenter la nappe. Cette dernière affirmation était confirmée par le fait que les tranches profondes aérées du sol se trouvaient pendant la même période dans une phase d'assèchement régulière sans perturbations.

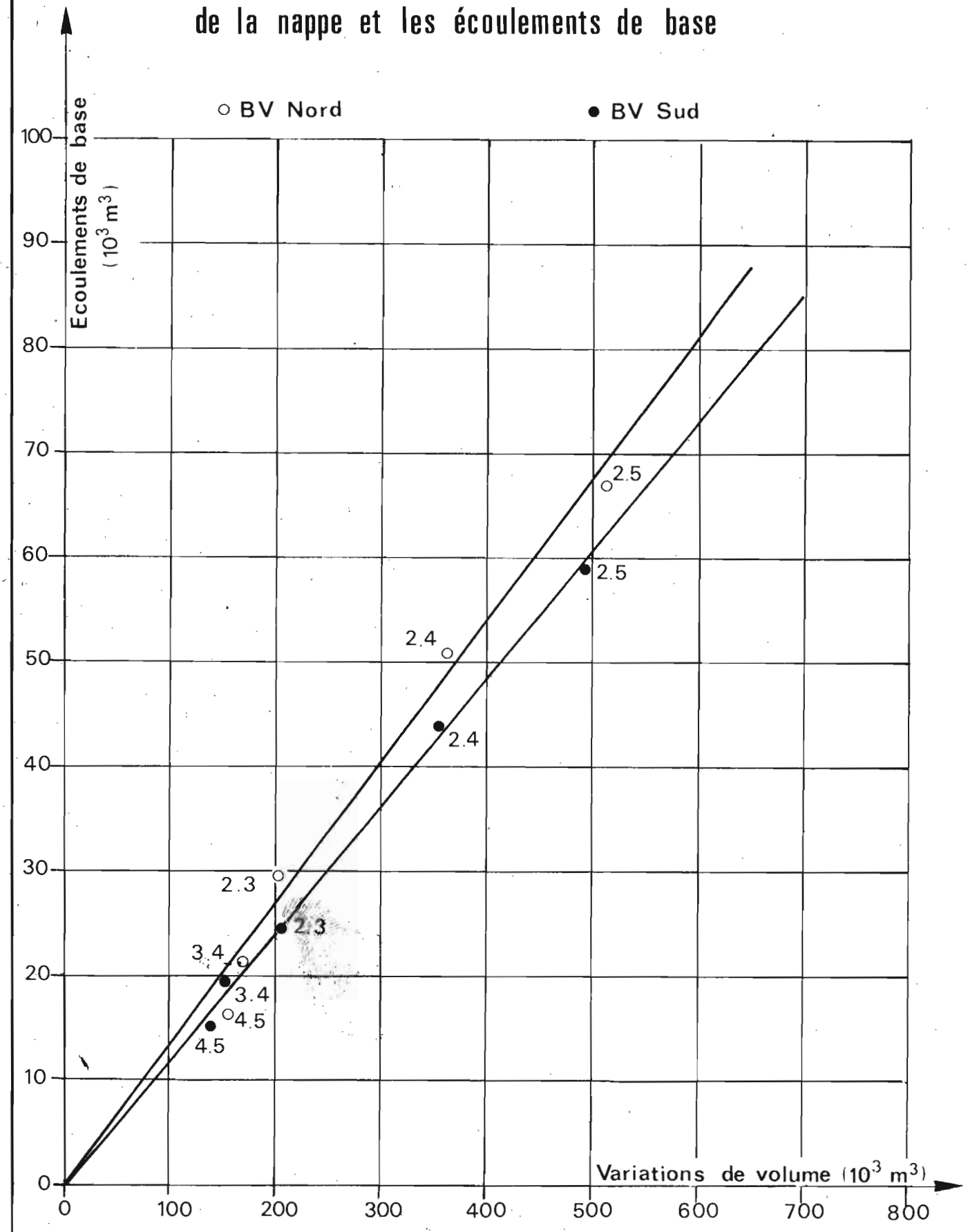
Ces corrélations figurent au graphique 18.

Elles permettent de définir un "coefficient d'emmagasinement apparent" de l'aquifère de la nappe assimilable au coefficient de porosité à quelques différences près qui est de 12,2 % pour le bassin SUD et de 13,6 % pour le bassin NORD.

BVE d'AMBATOMAINTY

Gr_ 18

Corrélation entre les variations du volume du réservoir de la nappe et les écoulements de base



O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique | date 11-75 | des. D-JP | MAD- 171812

C H A P I T R E VI

Résultats de la station climatologique

Les principaux résultats des mesures obtenus à la station climatologique d'AMBATOMAINTY sont regroupés dans le tableau 12.

6.1 - EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE colonne ETP

Les résultats donnés dans la colonne ETP correspondent aux mesures effectuées sur bac lysimètre du type ORSTOM.

Le bac de dimension 2 X 2 mètres, est situé au milieu d'une pelouse de 10 X 10 mètres et est planté en cynodon, le paspalum ne convenant pas en raison de l'altitude.

Un pluviomètre au sol situé à proximité permet de mesurer la pluie. Les bilans journaliers effectués sur le bac en utilisant les résultats de ce pluviomètre semblent acceptables même dans le cas des fortes averses et nous pensons que les mesures effectuées aboutissent à des résultats représentatifs.

Cependant ce type d'appareil n'est pas très fiable dans un pays aussi pluvieux, car si la pluie était mesurée par défaut, ce qui est toujours possible dans une région aussi ventilée, les mesures du bac, obtenues par bilan en seraient faussées d'autant, par excès.

La valeur de l'évaporation potentielle annuelle obtenue sur pelouse de cynodon est de 1.311 mm pour l'année 1974, seule année complète dans le stade actuel des mesures.

On ne doit pas s'attendre à de grandes variations annuelles de cette valeur dans un climat dont les caractéristiques annuelles varient assez peu d'une année à l'autre.

Tableau n° 12

B.V.E. d'AMBATOMAINTY

Résultats des mesures effectuées à la station climatologique

ANNEE 1973

Mois	TEMPERATURES						HUMIDITES			EVAPORATION		
	T max	T min.	TM	TS 7 h	TS 12h	TS 17h	U 7 h	U 12 h	U 18 h	ETP mm/j	EV mm/j	VENT m/s
Janv	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Févr	25,3	11,6	17,9	15,4	20,0	17,9	94	76	86	–	–	–
Mars	25,0	11,0	18,1	15,4	20,1	17,8	95	74	87	(3,5)	–	4,9
Avril	24,8	8,6	15,6	13,5	17,7	15,3	96	74	91	3,1	–	5,2
Mai	23,6	4,4	14,4	10,8	18,4	15,3	97	56	77	3,0	–	3,7
Juin	19,0	5,0	11,9	9,6	13,7	11,6	98	77	91	2,0	–	5,6
Juil	19,9	2,5	11,0	7,7	14,2	11,4	96	67	87	2,1	–	4,9
Août	21,2	3,6	10,6	8,2	13,3	11,1	96	82	87	3,0	–	–
Sept	23,4	3,4	13,6	10,1	18,1	14,7	97	52	74	3,4	–	4,7
Oct	26,1	3,6	15,0	13,0	19,2	16,7	84	53	70	4,2	–	4,6
Nov	27,0	7,5	18,0	15,3	21,6	17,8	85	53	74	4,5	–	4,3
Déc	25,2	9,0	17,0	15,0	19,8	17,7	89	63	79	4,8	–	4,9

ANNEE 1974

Janv	24,3	9,6	16,7	14,4	19,5	17,0	94	68	85	4,2	3,8	5.4
Févr	25,7	10,7	17,0	16,4	19,4	16,9	94	71	87	3,8	3,4	4,9
Mars	24,3	9,5	16,0	13,9	18,6	16,2	95	72	87	3,6	3,3	5,2
Avril	24,2	8,5	16,3	13,7	19,3	16,6	96	69	86	3,4	3,0	4,3
Mai	21,8	4,5	14,4	11,2	17,9	14,1	97	67	94	3,1	2,6	3,3
Juin	19,8	1,9	11,4	8,8	14,5	11,9	97	69	87	2,6	2,2	4,1
Juil	18,8	0,7	10,4	8,0	13,3	11,4	96	71	82	2,6	2,2	5,2
Août	22,6	0,2	10,5	7,9	14,2	11,9	94	66	82	3,1	2,8	5,5
Sept	20,9	2,4	12,0	9,6	15,9	13,5	94	60	75	3,5	3,5	5,2
Oct	25,0	4,5	14,2	12,2	18,6	15,2	92	58	74	4,1	3,6	4,6
Nov	25,8	6,7	16,1	14,1	20,9	17,6	89	55	75	4,5	4,3	4,5
Déc	25,7	9,9	17,4	15,3	21,2	17,7	92	60	81	4,6	4,1	4,2

ANNEE 1975

Janv	24,8	8,1	17,1	15,0	20,8	18,2	92	66	82	4,3	3,9	5,3
Févr	25,0	9,5	17,1	15,0	20,9	17,8	95	65	84	4,2	3,9	3,9
Mars	24,3	10,5	16,5	14,7	19,4	16,7	97	74	89	3,9	3,6	6,0
Avril	23,4	9,8	15,6	13,8	19,2	16,4	95	72	88	3,1	3,3	4,5
Mai	24,4	4,5	13,4	10,6	17,9	15,6	95	59	75	3,0	3,3	4,8
Juin	19,2	2,5	10,7	9,0	13,6	11,8	96	76	87	2,4	2,6	–

6.2 - EVAPORATION

Les mesures contenues dans la colonne EV proviennent de mesures effectuées sur bac type COLORADO. Les résultats obtenus sont en général légèrement inférieurs aux résultats obtenus sur bac ETP. Ce résultat est en contradiction avec les observations habituellement faites sur ces appareils mais, les différentes observations connues effectuées par l'ORSTOM sur ce type d'appareil ont été faites en Afrique Occidentale dans des conditions climatologiques très différentes des nôtres et cette légère anomalie ne doit pas être considérée comme vraiment anormale.

CHAPITRE VII

Essais de bilans hydriques annuels et saisonniers

7.1 - BILANS HYDRIQUES ANNUELS

Les calculs de bilans hydriques sont souvent assez décevants parce que leur précision est considérablement influencée par la qualité de la mesure de la pluie, terme prépondérant, et que cette qualité apparait la plupart du temps comme médiocre et plus particulièrement dans les régions ventilées.

On sait que, dans les régions ventilées, la mesure de la pluie a 1,50 m du sol est généralement faite par défaut et que les mesures au sol, faites au même endroit, selon les normes préconisées par l'OMM mettent en évidence des écarts entre les deux types de mesures pouvant atteindre 20 à 30 % pour certaines averses et 10 % sur le total annuel.

Certains auteurs sont amenés à majorer leur résultats pluviométriques obtenus à 1,50 mètres du sol de 10 % pour aboutir à des calculs de bilan hydrique cohérents.

En région au relief accidenté, on ne sait pas bien mesurer la pluie. Sur les bassins d'AMBATOMAINTY, on a vu au chapitre pluviométrie que l'on dispose de deux séries de mesures hétérogènes suivant que l'on se trouve sur les versants abrités du vent ou sur les versants exposés au vent par rapport à la direction des vents dominants.
Les pluviomètres abrités sont les pluviomètres 03 et 05 pour le bassin SUD et 09 et 11 pour le bassin NORD. Les mesures recueillies à ces pluviomètres apparaissent supérieures à celles recueillies aux autres pluviomètres dans des proportions atteignant 10 % sur le total annuel en 1972-1973.

7.1.1 - Recherche d'une valeur de la pluie moyenne spatiale par bassin

Sachant que la mesure effectuée à 1,50 m du sol est généralement sous-estimée, nous aurions tendance à prendre pour valeur moyenne par bassin, une valeur assez proche des valeurs obtenues aux pluviomètres abrités. Différents essais effectués semblent confirmer le bien-fondé de cette attitude.

Les essais du tableau 13 consistent à comparer les déficits d'écoulements obtenus pendant les périodes allant du 1er Octobre au 30 Juin des années 1972-1973 d'une part et 1974-1975 d'autre part, sur le bassin SUD. On admettra que l'ETR sur le bassin SUD a été sensiblement la même pendant ces deux périodes, comparables du point de vue climatologique et de la nature du couvert végétal, et que le déficit d'écoulement obtenu en 1972-1973 devrait être légèrement inférieur à celui de 1974-1975, dans les mêmes proportions que les différences de stock accumulées dans le sol au 30 Juin de ces deux années.

- le premier essai effectué avec une valeur calculée de la pluviomètrie moyenne pour le bassin prise égale à la moyenne des résultats obtenus aux 5 pluviomètres (1, 2, 3, 4, 5) du bassin donne des écarts considérables entre les résultats de D.E. de 72-73 et celui de 74-75.

- les deux autres essais aboutissent à des résultats du D.E. plus proches et plus vraisemblables.

Nous avons finalement retenu les formules donnant les pluies moyennes par bassins, suivantes : (tableau 14)

BASSIN SUD $PM_S = 0,4\ P(03) + 0,2\ P(04) + 0,4\ P(05)$

BASSIN NORD $PM_N = 0,4\ P(09) + 0,2\ P(10) + 0,4\ P(11)$

Cette définition de la pluie moyenne par bassin, ayant été effectuée au vu de résultats partiels, doit être considérée comme provisoire

Tableau n° 13

AMBATOMAINTY - BASSIN SUD

Comparaison des déficits d'écoulements entre

le 1er Octobre et le 1er Juillet

pour différents calculs de la pluviometrie moyenne

1°/ - PM = Moyenne des pluviomètres 1,2,3,4,5

Année	Pluviométrie	Ecoulements	Déficits d'écoulements
1972-1973	1600	1034	566
1974-1975	1717	922	795

2°/ - PM = Moyenne postes 3 et 5 (versant abrité)

Année	Pluviométrie	Ecoulements	Déficits d'écoulements
1972-1973	1862	1034	828
1974-1975	1787	922	865

3°/ - $PM = 0,4\ P_{03} + 0,4\ P_{05} + 0,2\ P_{04}$

Année	Pluviométrie	Ecoulements	Déficits d'écoulements
1972-1973	1800	1034	766
1974-1975	1762	922	840

Tableau n° 14

PLUIE MOYENNE SUR LES BASSINS NORD ET SUD

CALCULEE SUIVANT LES FORMULES :

$$\begin{cases} PM\ NORD = 0,4\ P_{09} + 0,2\ P_{10} + 0,4\ P_{11} \\ PM\ SUD = 0,4\ P_{03} + 0,2\ P_{04} + 0,4\ P_{05} \end{cases}$$

B.V.	Année	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	TOTAL ANNUEL
N	1972-1973	(40,0)	176,0	355,8	487,3	373,3	208,7	64,2	10,6	86,6	77,1	91,7	19,7	1991,0
S	1972-1973	(40,0)	176,1	367,6	465,4	358,6	218,2	56,1	10,2	77,1	66,8	84,4	15,5	1936,0
N	1973-1974	35,6	157,3	305,7	144,5	246,4	171,1	150,8	54,5	72,7	74,6	49,1	19,7	1482,0
S	1973-1974	37,7	171,2	313,1	142,0	244,3	165,9	163,1	57,5	74,2	71,4	53,3	19,0	1512,7
N	1974-1975	121,7	102,0	330,8	205,8	376,2	435,8	100,9	53,3	35,6	-	-	-	1762,1
S	1974-1975	123,2	101,0	341,9	206,2	394,7	427,7	109,6	53,5	36,3	-	-	-	1794,1

7.1.2 - Résultats obtenus - Calcul de l'ETR (tableau 15)

L'année 1974-1975 n'est malheureusement pas complète, les dépouillements des mesures ayant été arrêtés au 30 Juin 1975 pour le présent rapport. Nous publions ces chiffres à titre provisoire, sous réserve d'un choix ultérieur plus judicieux de la valeur de la pluviomètrie moyenne par bassin.

- On voit que la valeur de l'ETR pour 1972-1973 se situe aux alentours de 850 mm pour B.V. NORD et 882 mm pour le B.V. SUD, chiffres très voisins.

- Pour l'année 1973-1974 il y a un écart de 100 mm entre la valeur calculée du bassin NORD et celle du bassin SUD. Cet écart est irréductible. Pour le bassin NORD on a une pluviomètrie annuelle supérieure à celle du bassin SUD, un écoulement inférieur et un remplissage de la nappe également inférieur. La nappe sur le bassin SUD rejoint en fin d'année le volume de la nappe en début d'année alors que sur le bassin NORD le volume de la nappe reste toujours au-dessous du volume correspondant à la même époque de l'année en 1973. (cf. graphiques 16 et 17).

Nous ne pensons pas néanmoins que les légères modifications ou travaux réalisés sur le bassin NORD au cours de cette année (v. tableau 1) puissent être considérés comme responsables de cet écart.

La valeur calculée de l'ETR sur le bassin SUD en 1973-1974 parait anormalement faible par rapport à celle de 1972-1973 et cette différence ne devrait pas, à notre sens, avoir été provoqué par le brûlis, la croissance des plantes qui lui a succèdé étant plutôt de nature à accroître l'ETR par rapport à une année normale.

L'écart observé entre l'ETR calculée sur le bassin NORD et celle calculée sur le bassin SUD en 1973-1974 ne nous parait donc pas être entièrement significatif.

- Les mesures 1974-1975 sont partielles et peuvent difficilement être interprétées.

Tableau n° 15

BILAN HYDRIQUE ANNUEL

Année	B.V.	Pluie	Ecoulements	Déficits Ecoulements	Variation nappe	Variation humidite	ETR
1972 - 1973	N	1936	1128	808	(42)	-	850
1972 - 1973	S	1991	1153	838	(44)	-	882
1973 - 1974	N	1513	644	869	40	0	909
1973 - 1974	S	1482	676	806	0	0	806
1974 - 1975	N	1794*	918*	876*			
1974 - 1975	S	1762*	922*	840*			

* du 1er Octobre au 1er Juillet.

En conclusion de ce paragraphe, un résultat nous semble cependant intéressant :

La valeur de l'ETR annuelle sur le bassin en couvert végétal naturel semble être de l'ordre de 850 mm environ alors que l'ETP mesurée sur bac lysimètre, couvert de gazon, est environ de 1.300 mm.

Or, sur AMBATOMAINTY la pluie est suffisante pour satisfaire les besoins en eau des plantes et pendant les rares périodes de sècheresse, celles-ci peuvent disposer du stock de la tranche superficielle du sol qui vaut 70 mm et qui est suffisante pour pallier aux défaillances de courte durée de la pluie.

On peut donc considérer que la valeur de 850 mm représente à peu près le besoin en eau maximal, ou l'ETP, des graminées qui recouvrent les bassins, plantes adaptées à la pauvreté du sol et dont la végétation est assez faible.

La différence observée entre l'ETP bac et l'ETP bassin pourrait provenir donc d'une différence des besoins en eaux des plantes qui est fonction de l'espèce d'une part et également de l'amélioration des conditions de croissance du gazon sur bac, dont le sol a été enrichi en fumure artificielle.

7.2 - BILANS HYDRIQUES SAISONNIERS

7.2.1 - Rappel des méthodes de contrôle des variations des réserves souterrainnes

Il reste à définir les processus d'échanges entre la nappe et la tranche aérée du sol d'une part, et de la nappe à la rivière d'autre part. Lorsque la nappe est à son niveau le plus haut, comme par exemple au 1er Mars 1973, la tranche du sol située au-dessous de la nappe est elle-même saturée, dans un état d'équilibre dynamique.
A ce stade, la tranche de sol située au-dessus de la nappe a une épaisseur moyenne de 2 mètres environ.

Durant la phase de ressuyage qui se prolonge jusqu'aux environs du 14 Mars (d'après les courbes de décroissances des débits établies en coordonnées semi-logarithmiques) une partie des réserves en eau situées au-dessus de la nappe sont restituées directement à la rivière sous forme d'écoulement hypodermique alors qu'une autre partie percole vers la nappe.

La nappe elle-même restitue à la rivière en partie par le réseau de drains peu profonds destinés à l'acheminement de l'écoulement hypodermique lorsque son niveau est assez haut, et tant que la phase de ressuyage n'est pas achevée. Elle restitue d'autre part sous forme d'écoulement de base (sources). Cet écoulement de base se prolonge au-delà de la phase de ressuyage suivant une loi de tarissement. Lorsque le niveau de la nappe descend, elle libère des sols saturés qui évoluent lentement vers l'état de rétention par percolation vers la nappe ou pendant la phase de ressuyage par restitution hypodermique à la rivière.

Ce processus d'échanges n'est pas simple mais on peut le schématiser en appelant "complexe nappe" à une époque donnée, le volume de l'aquifère délimité par le niveau de la nappe proprement dit, augmenté de la frange capillaire et des réserves encore contenues dans les sols aérés, récemment libérés, qui percolent vers la nappe.

La variation de ce complexe représente une certaine quantité d'eau restituée à la rivière et dont la traduction en volume d'eau se fait grâce aux corrélations des graphiques 18 établies au paragraphe 5.2. Il faut ajouter en plus au bilan, les variations d'eau des tranches peu profondes du sol qui alimentent la rivière sous forme d'écoulement hypodermique lors de la phase de ressuyage et la tranche superficielle dont les échanges se font, pour la plupart, par restitution directe à l'atmosphère.

En rajoutant aux variations du complexe nappe, les variations de stock en eau des deux premiers mètres de profondeur, on aboutit à un résultat satisfaisant.

7.2.2 - Résultats obtenus (tableau 16)

Les calculs ont été faits sur un certain nombre de périodes, sur le bassin SUD au cours des années 1972-1973 et 1973-1974.
Les résultats obtenus pendant la saison froide 1973 et la saison sèche 1974 (début Mai à fin Octobre) ne sont pas homogènes.
Un premier essai effectué en utilisant comme valeur de la pluviométrie moyenne, la moyenne des cinq pluviomètres représentatifs du bassin donnait des résultats homogènes et proches de ceux obtenus en 1974.
Il semble bien que les résultats de 1973 soient calculés par excès, cette erreur étant liée au calcul de la pluie qui semble lui-même excessif pendant cette période.
Les résultats obtenus en 1974 semblent les plus vraisemblables.
Les autres éléments du bilan hydrique semblent être calculés d'une façon acceptables.
Les résultats sont provisoires et pourraient être modifiés si les campagnes futures nous apportent des éclaircissements sur la façon de calculer d'une façon plus satisfaisante la pluie moyenne vraie.

Tableau n° 16

BILANS HYDRIQUES SAISONNIERS
SUR LE BASSIN SUD
(mm)

Période	N. jours	Pluie	Débits	Nappe	Tranche 0 - 55 du sol	Tranche 55 - 205 du sol	ETR	ETR journalier mm/j
02/03/73 au 24/03/73 (à 7 h 00)	22	+ 166,0	- 177,4	+ 25,0	+ 9,0	+ 30,0	52,6	2,4
23/03/73 au 07/06/73 (à 7 h 00)	76	116,7	- 182,5	+ 178,1	+ 37,0	+ 25,0	174,3	2,3
07/06/73 au 01/09/73 (à 7 h 00)	87	247,8	- 135,1	+ 120,4	- 37,0	- 15,0	181,1	2,0
01/09/73 au 04/11/73 (à 7 h 00)	64	55,4	- 58,6	+ 67,0	+ 59,0	+ 31,0	153,8	2,4
04/11/73 au 01/03/74 (à 7 h 00)	117	853,8	- 270,7	- 140,4	- 50,0	- 54,5	338,2	2,9
01/03/74 au 17/04/74 (à 7 h 00)	47	271,9	- 133,7	- 36,0	+ 1,5	- 6,0	134,7	2,3
17/04/74 au 21/06/74 (à 7 h 00)	65	138,5	- 112,5	+ 37,3	+ 17,0	+ 30,0	110,3	1,7
21/06/74 au 23/08/74 (à 7 h 00)	63	158,5	- 93,6	+ 58,0	- 13,5	- 1,4	108,0	1,7
23/08/74 au 09/11/74 (à 7 h 00)	78	196,3	- 56,5	+ 88,	0,0	- 14,0	214,4	2,8

C H A P I T R E VIII

Conclusion

Les mesures effectuées jusqu'au 1er Octobre 1975 ainsi que celles apportées par la prochaine campagne 1975-1976 permettront de clore la première partie de cette étude qui a consisté à tester les effets à repercussion rapide provoqués par la mise en valeur agricole rationnelle d'une petite vallée dans les Hauts-Plateaux Malgaches.

On a pu se rendre compte en feuilletant les trois rapports intérimaires jusqu'à présent édités que les études sur bassins expérimentaux fournissent beaucoup plus de renseignements qualitatifs et quantitatifs que ceux obtenus sur petites parcelles expérimentales.

L'interprétation des mesures sur bassins versants expérimentaux est sans doute plus délicate et les résultats obtenus ont un aspect moins systématique que ceux obtenus sur parcelles dans la mesure ou le milieu géomorphologique et écologique impose certaines contraintes à l'étude. Mais précisement ces contraintes sont saines car elles garantissent en quelque sorte une meilleure représentativité régionale.

Le bassin versant, petite vallée contenant en elle-même la plupart des caractéristiques topographiques et morphologiques d'une vallée plus grande, constitue une sorte de modèle réduit d'une région plus vaste et les résultats sont plus facilement extensibles à une plus grande échelle.

Il serait du plus vif intérêt de reprendre l'étude dans quelques années afin de tester les effets à long terme et notamment ceux que pourraient produire sur les termes du bilan hydrique une éventuelle augmentation de l'ETR due à la reforestation d'une partie importante du bassin. De tels résultats n'ont en effet jamais été obtenus sur petites parcelles, qui ne contrôlent pas les exutoires de la nappe.

A N N E X E

Les débits moyens journaliers des années 1972 - 1973 et 1973 - 1974 présentés dans cette annexe ont été dépouillés par traitement mécanographique. Les légères différences pouvant exister avec des valeurs publiées antérieurement proviennent d'un changement dans la méthode de dépouillement, rapport au dépouillement à la main.

Annexe 1

B.V.E. d'AMBATOMAINTY

BASSIN NORD

Débits moyens journaliers en l/s

1972 - 1973

J.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.
1		(2,7)	3,03	6,96	24,7	32,0	14,8	6,61	4,68	3,81	6,01	3,49
2		(2,7)	3,04	7,11	21,8	29,0	13,0	6,38	4,58	3,75	5,12	3,34
3		(2,7)	2,81	7,66	24,9	35,5	11,9	6,16	4,58	3,95	4,66	3,26
4		(2,7)	2,74	6,98	19,4	53,7	11,3	6,16	4,58	3,82	4,07	3,35
5		(2,7)	2,80	8,07	20,2	75,1	11,1	6,16	4,64	3,81	3,89	3,75
6		(2,7)	2,71	17,9	22,7	45,5	10,8	6,16	5,22	3,81	3,88	3,45
7		(2,7)	2,68	33,6	29,1	35,7	10,3	6,05	5,37	3,81	4,10	3,34
8		(2,7)	2,62	20,9	19,3	30,2	9,83	6,07	4,98	3,89	4,74	3,27
9		(2,7)	2,62	14,6	17,3	28,5	9,42	6,16	5,19	3,97	4,65	3,20
10		(2,7)	2,62	11,0	15,9	30,9	9,33	6,14	13,2	3,88	4,15	3,19
11		9,57	2,59	9,76	15,1	25,8	9,18	6,05	6,54	3,73	4,00	3,19
12		11,1	2,53	9,18	14,4	26,4	8,89	5,77	5,33	3,66	3,95	3,20
13		6,07	2,53	9,04	14,2	24,0	8,61	5,74	7,85	3,71	3,65	3,42
14		4,10	16,3	15,2	13,5	24,2	8,37	5,64	8,22	3,67	3,58	3,01
15		3,45	5,15	33,4	12,7	23,4	8,16	5,37	7,18	3,95	3,58	2,85
16		3,30	13,5	47,6	19,6	21,5	8,23	5,33	5,62	4,72	3,86	2,84
17		4,20	3,79	32,9	17,6	19,5	8,74	5,24	5,55	4,07	4,41	3,23
18		4,38	10,3	20,8	18,1	18,9	11,9	5,24	4,89	4,40	3,91	3,20
19		7,56	105	16,8	34,6	17,9	12,1	5,24	4,95	4,83	4,78	3,54
20		5,67	77,0	14,8	60,2	16,7	9,06	5,24	5,01	4,57	4,84	3,55
21		,28	49,9	30,9	33,0	15,7	8,39	5,15	4,61	4,04	4,47	3,28
22		4,02	24,0	16,8	24,6	15,5	8,23	5,03	4,59	3,84	3,80	2,99
23		3,65	15,3	15,3	38,2	14,9	7,67	4,95	4,67	4,14	5,93	2,97
24		4,15	42,0	13,8	40,9	14,8	7,28	4,95	4,77	5,13	5,76	2,91
25		3,90	19,1	12,7	32,0	14,2	7,36	5,03	5,52	5,48	5,33	2,80
26		4,92	13,0	12,1	36,3	13,7	8,16	4,97	4,87	5,24	5,01	2,78
27		5,03	11,5	12,5	34,3	13,3	7,66	4,94	4,57	5,59	4,82	2,68
28		3,58	10,1	43,8	35,1	13,7	7,83	4,78	4,17	4,31	4,26	2,62
29		4,02	9,45	62,2		14,1	7,56	4,77	4,13	3,82	3,82	2,72
30		3,44	8,08	39,6		14,4	7,03	4,77	3,97	3,65	3,66	2,76
31			7,24	32,1		19,1		4,76		3,99	3,58	
Moy.	(2,7)	(4,2)	15,4	20,5	25,3	25,1	9,41	5,52	5,47	4,16	4,40	3,14
Lame (mm)	24,9	37,5	142,2	189,3	211,0	231,8	84,0	50,8	49,2	38,7	40,6	27,7

Lame écoulée annuelle : 1128 mm

Annexe 2

B.V.E. d'AMBATOMAINTY

BASSIN SUD

Débits moyens journaliers en l/s

1972 - 1973

J.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.
1		(2,7)	3,09	5,60	22,0	30,2	12,9	6,10	4,23	4,11	6,79	3,25
2		(2,7)	2,76	5,68	18,7	25,5	11,0	5,85	4,13	3,87	5,53	3,28
3		(2,7)	2,65	6,83	23,4	33,0	10,3	5,55	4,13	3,79	5,10	3,14
4		(2,7)	2,61	6,28	17,0	56,6	9,83	5,45	4,14	3,78	4,10	3,26
5		(2,7)	2,49	7,83	16,0	65,9	9,57	5,45	4,30	3,69	3,88	3,77
6		(2,7)	2,37	17,1	18,3	40,7	9,43	5,45	5,30	3,70	3,94	3,37
7		(2,7)	2,24	32,9	33,7	33,2	9,02	5,45	5,57	3,85	4,11	3,18
8		(2,7)	2,18	16,8	16,9	28,5	8,63	5,75	5,02	3,94	5,06	3,18
9		(2,7)	2,23	11,3	14,4	24,6	8,00	5,89	5,17	3,95	4,78	3,10
10		(2,7)	2,15	9,23	13,3	26,1	8,22	6,11	9,50	3,78	4,17	3,05
11		11,9	2,15	8,27	12,6	22,0	8,13	5,89	6,65	3,54	4,12	3,04
12		15,2	2,15	7,62	11,8	21,4	7,84	5,47	5,31	3,60	3,96	3,01
13		7,95	2,15	7,91	11,7	19,2	7,63	5,45	7,85	3,67	3,69	2,74
14		4,40	14,1	16,1	11,2	18,4	7,41	5,36	8,37	3,55	3,60	2,77
15		3,47	5,38	39,0	11,1	18,9	7,32	5,17	7,24	3,61	3,54	2,70
16		2,93	15,4	43,6	12,6	17,0	7,33	5,05	6,01	4,87	3,67	2,69
17		4,79	3,47	29,3	16,9	15,5	8,17	4,89	5,79	4,55	4,31	3,14
18		4,00	8,83	18,1	16,3	15,3	11,3	4,88	4,85	4,60	3,82	3,25
19		8,21	69,1	14,7	38,1	14,3	11,2	4,79	5,04	4,95	5,01	3,43
20		6,46	72,9	12,7	59,0	13,3	8,05	4,69	5,14	4,83	4,98	3,43
21		4,34	41,3	29,4	31,3	12,7	7,74	4,60	4,70	4,14	4,49	2,96
22		3,49	18,9	15,1	23,2	12,6	7,74	4,67	4,51	3,92	3,79	2,94
23		3,17	17,1	13,2	38,1	12,2	7,22	4,69	4,67	4,48	6,21	2,85
24		4,49	36,6	12,0	38,4	12,0	6,56	4,61	4,92	5,71	6,09	2,77
25		4,27	15,4	11,2	29,5	11,7	6,58	4,77	6,51	5,92	5,70	2,70
26		5,72	10,3	10,4	29,3	11,4	8,10	4,69	5,18	5,54	5,58	2,70
27		5,80	9,13	10,6	31,5	11,1	7,38	4,50	4,62	6,03	5,10	2,64
28		3,66	8,26	46,5	34,4	11,4	7,81	4,33	4,34	4,18	4,26	2,58
29		3,78	7,87	63,2		12,2	7,76	4,32	4,12	3,44	3,59	2,69
30		3,32	6,61	38,7		12,4	6,79	4,32	3,97	3,80	3,52	2,76
31			6,01	29,5		16,1		4,32		4,18	3,34	
Moy.	(2,7)	(4,6)	12,8	19,2	23,2	21,8	8,50	5,11	5,38	4,24	4,51	3,01
Lame (mm)	27,8	45,8	131,8	197,7	215,8	224,5	84,7	52,5	53,8	43,2	46,3	29,9

Lame écoulée annuelle : 1153 mm

Annexe 3

B.V.E. d'AMBATOMAINTY

BASSIN NORD

Débits moyens journaliers en l/s

1973 - 1974

J.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.
1	2,72	2,13	2,58	9,37	4,22	6,24	5,68	6,36	4,23	3,10	3,97	3,36
2	2,66	2,13	7,89	7,31	4,01	5,81	5,73	6,16	4,14	2,57	3,21	2,91
3	2,66	2,10	5,43	8,24	4,84	5,92	21,4	5,62	4,38	3,34	4,07	2,42
4	2,66	2,24	14,7	9,93	5,93	6,50	20,2	6,36	4,42	5,01	4,83	2,41
5	2,54	2,30	8,55	16,4	15,7	6,19	9,78	7,50	4,55	3,98	4,10	2,71
6	3,72	20,7	5,63	14,6	17,0	7,30	8,18	6,70	8,98	3,55	3,49	2,95
7	10,6	7,61	4,63	11,3	7,46	14,4	8,21	6,95	5,76	4,60	3,33	2,86
8	5,27	4,95	3,78	10,6	7,27	9,01	7,54	6,27	4,72	5,99	3,20	2,80
9	2,98	4,28	3,68	17,3	10,1	7,48	23,1	5,95	4,33	6,94	2,72	2,94
10	2,78	3,21	4,00	11,0	15,4	12,3	12,1	5,68	4,14	4,83	3,35	3,35
11	2,59	2,80	3,40	9,71	12,3	10,7	8,97	6,41	3,99	3,90	3,19	2,82
12	2,35	2,60	3,00	8,39	12,1	7,20	7,94	5,79	3,90	4,02	2,77	2,79
13	2,34	2,53	2,80	8,20	9,17	6,51	8,05	6,34	3,83	3,26	3,07	3,64
14	2,30	2,64	2,69	7,33	5,68	7,46	8,00	5,44	3,94	3,09	3,89	3,20
15	2,21	3,18	2,53	6,79	6,53	6,25	7,88	5,06	4,04	3,85	4,92	3,11
16	2,19	3,55	2,54	6,44	13,2	5,86	7,29	4,97	4,06	3,90	5,99	3,44
17	2,22	3,01	2,65	6,36	14,6	8,36	6,63	4,88	3,91	3,38	4,74	3,36
18	2,11	3,80	2,45	5,57	36,7	12,8	6,42	4,73	3,74	3,42	4,30	2,97
19	2,29	3,78	2,43	5,10	14,9	7,52	8,01	5,07	4,63	3,63	4,43	2,75
20	2,38	2,60	4,10	7,16	10,0	8,63	16,2	4,73	6,41	3,21	4,05	2,63
21	2,30	2,36	5,54	6,28	8,44	10,3	12,3	4,58	5,15	2,84	3,58	2,57
22	2,24	2,32	9,92	5,06	8,09	8,82	7,61	4,66	5,30	2,78	3,27	2,53
23	2,06	12,9	14,8	4,71	8,38	7,78	6,99	4,51	7,55	2,66	3,30	2,22
24	2,14	4,68	7,68	4,66	8,06	7,30	6,67	4,57	6,90	2,66	3,84	2,19
25	2,28	3,90	4,79	5,34	7,53	7,28	6,27	4,51	6,07	3,60	3,44	2,40
26	2,26	4,27	5,48	4,87	8,24	7,86	6,16	4,47	5,11	2,97	3,22	2,21
27	2,22	3,46	10,4	4,54	6,98	7,77	6,06	4,30	4,46	2,49	3,39	2,08
28	1,95	4,30	59,1	4,48	6,40	7,66	6,69	4,25	4,34	2,43	2,89	2,46
29	2,04	4,76	32,9	4,42		6,90	6,74	4,49	5,23	2,33	2,85	2,30
30	1,95	2,96	20,7	4,40		6,11	6,27	4,57	4,82	2,41	2,82	2,09
31	1,99		12,7	4,32		5,83		4,41		3,00	2,99	
Moy.	2,74	4,27	8,82	7,75	10,3	7,94	9,30	5,36	4,90	3,54	3,65	2,75
Lame (mm)	24,9	38,4	81,2	72,0	85,9	72,9	83,1	49,8	45,2	32,3	34,1	25,0

Lame écoulée annuelle : 644 mm

Annexe 4

B.V.E. d'AMBATOMAINTY

BASSIN SUD

Débits moyens journaliers en l/s

1973 - 1974

J.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.
1	2,71	2,02	2,63	6,88	3,35	5,27	5,12	5,62	3,86	3,41	3,21	2,77
2	2,59	2,01	7,03	5,38	3,32	5,13	5,64	5,47	3,86	3,20	2,50	2,65
3	2,52	1,95	5,09	6,27	4,27	6,81	27,3	5,09	4,04	3,82	4,42	2,54
4	2,51	2,03	16,5	7,61	5,51	6,76	17,6	6,04	4,38	6,85	4,25	2,47
5	2,45	2,03	7,04	13,9	15,9	6,29	8,47	7,03	4,34	5,36	4,16	2,78
6	3,21	18,6	4,94	13,3	16,2	6,31	7,21	6,12	8,38	5,20	3,72	2,77
7	9,40	7,23	4,29	12,2	7,03	16,7	7,49	5,98	5,77	6,82	3,40	2,77
8	5,21	4,57	3,14	9,20	7,44	8,52	6,83	5,66	4,50	7,90	3,24	2,77
9	2,81	4,17	3,11	14,1	10,3	7,15	23,5	5,46	4,15	8,84	2,92	2,81
10	2,56	2,93	3,56	7,29	15,7	14,1	10,6	5,20	4,03	7,05	2,95	3,12
11	2,39	2,54	3,11	6,05	10,1	9,70	7,54	6,41	3,79	4,94	2,84	2,68
12	2,27	2,17	2,78	5,14	10,1	6,81	7,03	5,80	3,61	5,00	2,77	2,84
13	2,11	2,17	2,52	4,85	8,19	7,23	7,10	6,15	3,47	4,30	2,93	3,84
14	2,14	2,39	2,23	4,08	5,92	7,62	6,69	5,27	3,51	4,56	3,55	3,50
15	2,10	2,97	2,17	3,90	5,53	5,82	6,57	4,91	3,59	6,22	4,97	3,17
16	2,08	3,20	2,26	4,65	14,4	5,53	6,19	4,77	3,60	6,49	6,13	3,11
17	2,08	2,62	2,21	4,83	13,6	8,04	5,79	4,41	3,47	5,58	4,54	2,91
18	2,11	2,96	2,20	4,01	31,4	12,8	5,90	4,30	3,40	4,56	4,56	2,72
19	2,31	2,41	2,05	3,71	11,0	6,92	6,88	4,89	4,34	4,25	5,10	2,63
20	2,39	2,27	2,93	4,78	7,32	7,64	16,3	4,58	6,25	3,69	4,25	2,53
21	2,38	2,12	4,30	4,94	6,34	9,86	10,9	4,35	5,03	3,41	3,56	2,62
22	2,04	2,07	6,29	3,90	6,31	8,57	6,74	4,23	5,15	3,29	3,40	2,50
23	2,02	12,5	12,6	3,56	8,47	6,96	6,15	4,13	7,55	3,17	3,42	2,30
24	2,19	4,99	6,62	3,58	7,93	6,74	5,60	4,21	6,42	3,22	3,87	2,21
25	2,31	3,79	4,33	4,14	6,53	6,72	5,36	4,08	5,91	4,57	3,37	2,20
26	2,15	3,80	6,00	3,70	7,04	7,74	5,26	4,11	4,71	3,63	3,04	2,15
27	2,10	3,29	9,05	3,57	6,04	9,20	5,18	3,96	4,23	3,28	2,97	2,16
28	2,05	3,82	64,7	3,66	5,47	7,05	5,89	3,86	4,22	2,96	2,90	2,43
29	2,02	4,18	38,2	3,59		6,20	6,00	3,94	5,44	2,80	2,78	2,35
30	1,93	2,73	18,6	3,76		5,53	5,47	3,95	4,63	2,88	2,82	2,15
31	1,97		9,11	3,60		5,17		3,88		3,91	2,83	
Moy.	2,62	3,88	8,44	5,94	9,31	7,77	8,61	4,96	4,65	4,68	3,59	2,68
Lame (mm)	26,8	38,8	86,5	60,8	86,5	80,3	85,7	51,5	46,8	48,4	37,1	26,9

Lame écoulée annuelle : 676 mm