

DELEGATION GENERALE A LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

D.G.R.S.T.

Paris

OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Centre d'Adiopodoumé

Mission de Niamey

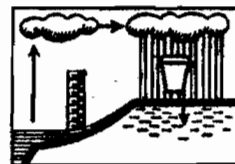
ÉTUDE LAT/03 : RUISSELLEMENT, INFILTRATION
ET ÉROSION EN ZONES SAHÉLIENNES ET SUBDÉSERTIQUES

RAPPORT DE TERRAIN SUR LA
SECONDE OPERATION "NIGER"

- Action sur le bassin versant de Galmi
- Action dans la cuvette d'Agadez



J. COLLINET
C. VALENTIN
J. ASSELINE
M. HOEPPFNER
P. HARANG
V. PEPIN



Adiopodoumé, Juillet 1980

DELEGATION GENERALE A LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

D.G.R.S.T.

Paris

OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Centre d'Adiopodoumé

Mission de Niamey

ÉTUDE LAT/03 : RUISSELLEMENT, INFILTRATION
ET ÉROSION EN ZONES SAHÉLIENNES ET SUBDÉSERTIQUES

RAPPORT DE TERRAIN SUR LA
SECONDE OPERATION "NIGER"

- Action sur le bassin versant de Galmi
- Action dans la cuvette d'Agadez

J. COLLINET
C. VALENTIN
J. ASSELINE
M. HÖEPFFNER
P. HARANG
Y. PEPIN

Adiopodoumé, Juillet 1980

RÉFÉRENCES

- Septembre 1978 : Avant projet DGRST et appel d'offres 1978 (titres, motivations scientifiques, cadre géographique, équipe de recherches, collaboration scientifique, bibliographie sommaire, premier devis estimatif. 4p., 1 fig).

- Mars 1979 : Compte-rendu de deux missions de reconnaissance préliminaire effectuées en Haute-Volta et au Niger. Programme de mise en oeuvre de différentes techniques de simulation de pluies en Haute-Volta et au Niger. 28p., 8 figures, 3 tableaux, 6 photographies, bibliogr. (35 réf.) devis estimatif.

- Avril 1979 : Acceptation du dossier de demande d'aide à la recherche.

- Septembre 1979 : Notification de la décision d'aide à la recherche (DIF/LAT 79.7.0407).

P L A N

1. AVERTISSEMENT.

2. DÉROULEMENT DE LA MISSION.

3. RAPPEL DES OBJECTIFS SCIENTIFIQUES PRÉVUS, FAITS SAILLANTS.

3.1. ACTION SUR LE BASSIN VERSANT DE GALMI

3.1.1. Choix des sites

3.1.2. Protocoles expérimentaux retenus

3.1.3. Analyse sommaire des premiers résultats

3.1.3.1. Pluies d'imbibition

3.1.3.2. Intensités limites provoquant le ruissellement

3.1.3.3. Intensité minimale d'infiltration

3.1.3.4. Coefficients de ruissellement

3.1.3.5. Lames infiltrées

3.1.4. Conclusion partielle

3.2. ACTION DANS LA CUVETTE D'AGADEZ

3.2.1. Choix des sites

3.2.2. Protocoles expérimentaux retenus

3.2.3. analyse sommaire des premiers résultats

3.2.3.1. Pluies d'imbibition

3.2.3.2. Intensités limites provoquant le ruissellement

3.2.3.3. Intensités d'infiltration

3.2.3.4. Coefficients de ruissellement

3.2.3.5. Lames infiltrées

3.2.4. Conclusion partielle

3.3. ACTIONS COMPLEMENTAIRES SUR GALMI

1. AVERTISSEMENT

Ce rapport de terrain fournit diverses informations sur l'état d'avancement et les circonstances de déroulement des deux actions menées au Niger dans le cadre de l'étude LAT 03. Pour dégager les faits saillants, un certain nombre de données ont été dépouillées rapidement, bien souvent au fur et à mesure qu'elles nous étaient fournies par les expérimentations de terrain. Les interprétations qui en sont issues ne sont donc que partielles et susceptibles d'être modulées et de toutes les façons complétées par l'analyse ultérieure de la totalité des données. Ceci explique également qu'il ne nous est pas encore possible d'aborder une étude sur l'érodibilité des sols car celle-ci nécessite le traitement d'un nombre très important d'échantillons.

2. DÉROULEMENT DE LA MISSION

Après des formalités douanières assez longues en Haute-Volta, l'ensemble du matériel redescendu d'Oursi sur Ouagadougou(1) a été ensuite acheminé par la route sur Niamey où nous sommes arrivés le 29 janvier 1980. Après une nouvelle mise en entrepôt douanier, nous avons pu obtenir la confirmation de son importation temporaire et la sortie de ce matériel le 5 février ce qui nous a permis de nous rendre sur le bassin versant de Galmi. A cet endroit, l'équipe s'est scindée en deux :

- C. VALENTIN est monté sur Agadez où il a bénéficié de la collaboration de Y. PEPIN, hydrologue de la mission ORSTOM de Niamey,
- J. COLLINET et J. ASSELINE ont mis en oeuvre le grand simulateur sur le bassin versant de Galmi avec la collaboration de P. HARANG, hydrologue de la mission ORSTOM de Niamey.

Les actions sur Galmi (Simulateur) et sur Agadez (Infiltromètre) se sont déroulées, sans incidents notables, jusqu'au 31 mars 1980. L'ensemble du matériel fut ensuite ramené en Côte d'Ivoire et nous arrivâmes à Abidjan le 6 avril 1980.

3. RAPPEL DES OBJECTIFS SCIENTIFIQUES PRÉVUS ET FAITS SAILLANTS

Il s'agit tant sur Galmi que sur Agadez d'une étude de l'infiltrabilité et de l'érodibilité de toute une série de sols différenciés sur des bassins versants représentatifs (2). Les objectifs sur Galmi et sur Agadez sont cependant sensiblement différents.

Le bassin versant de Galmi est hétérogène, comme la majorité de ceux étudiés jusqu'alors. Cette hétérogénéité réside dans la multiplicité de ses sols, de la géométrie de ses versants et de ses couverts végétaux. La distribution spatiale de ces différentes "situations" n'est cependant pas aléatoire, les sols sont notamment différenciés en géo- ou toposéquences, ce qui permet d'identifier aisément de vastes zones homogènes représentatives de telle ou telle portion de versant. L'étude hydrodynamique de chacune de ces zones homogènes menée à partir de séquences de pluies simulées, donc aux caractéristiques maîtrisées, fournit des données suffisamment fiables (pluie d'imbibition, intensités limites du ruissellement, intensités d'infiltration, lames ruisselées et infiltrées) pour pouvoir être utilisées dans les derniers modèles mathématiques permettant de mieux évaluer l'hydraulicité du bassin versant étudié. En tant que bassin représentatif, Galmi est susceptible d'entrer dans un classement de comportement, ce comportement est mis en relation avec ses caractéristiques physiques dont la qualité des définitions doit évidemment faciliter la transposition de données issues d'autres bassins en cours d'étude.

A cet volet hydrologique de l'étude s'adjoint un volet plus strictement pédologique concernant l'analyse des modalités de l'érosion, des modifications structurales dues à la dissipation de l'énergie cinétique des pluies, de la répartition des lames d'eau infiltrées en liaison avec les caractéristiques intrinsèques des sols, de l'influence de différentes techniques culturales ; et une étude agro-pédologique sur la levée et le dépérissement du mil en complément d'une étude similaire menée à Oursi (1).

Sur Agadez, les hydrologues de l'ORSTOM étudient depuis une vingtaine d'années les écoulements du Téloua, un des cours d'eau les plus importants du massif de l'Aïr. Ces travaux revêtent une importance économique considérable lorsque l'on sait que ce cours d'eau alimente la cuvette d'Agadez dont les nappes phréatiques permettent l'existence de jardins maraîchers et céréaliers florissants. La complexité du milieu physique entraîne un certain nombre de problèmes quant à la compréhension de l'hydraulicité de cette cuvette ; notre contribution a principalement concerné l'alimentation des nappes phréatiques. Les données hydrologiques démontrent en effet que près de 60 % des écoulements mesurés au seuil amont de la cuvette disparaissent par infiltration sur un trajet d'une dizaine de kilomètres et l'on peut se demander si les nappes sont alimentées par le cours d'eau ou (et) par l'eau pluviale tombant sur le sol de cette cuvette. Différentes séries de mesures combinant les techniques de simulation de pluies (infiltromètre à aspersion) ou d'infiltration sous l'ame d'eau (Pioger) doivent permettre d'évaluer les alimentations en eau :

- de la cuvette à partir des ruissellements en nappe provenant des versants rocheux (sur granite et sur grès),
- des nappes de la cuvette à partir des infiltrations se produisant au niveau des zones exondées des versants (granite et grès) et de la cuvette elle-même : sols sableux de l'amont de la cuvette et des rives des lits des cours d'eau, sols plutôt argileux de l'aval de la cuvette et des parties aval des regs sur granite et grès.

3.1. ACTION SUR LE BASSIN VERSANT DE GALMI

3.1.1. Choix des sites

La sélection des sites expérimentaux a été précédée par une reconnaissance de quatre zones homogènes et représentatives des principales caractéristiques topographiques et pédologiques de la région de l'Ader-Doutchi. Dans le choix de ces sites il a également été tenu compte des techniques culturelles traditionnelles couramment pratiquées dans cette région.

Une enquête rapide a permis de reconstituer le cycle des travaux concernant les cultures du mil et du sorgho. Le semis est réalisé dans des trous faits à la houe sur les sommets des billons de l'année précédente lorsqu'à l'issue des premières pluies le sol se trouve humecté sur 5 à 10 cm. Un premier sarclage-billonnage est effectué environ dix jours après ce premier semis, mil ou sorgho ayant alors levé. Il consiste à constituer à l'aide d'une binette un billon au niveau de l'interbillon de l'année précédente, donc au dépens de l'ancien billon. En même temps s'effectue une sélection des 2 ou 3 pieds les mieux venus par poquet. Un deuxième et ultime sarclage-billonnage plus rapide est effectué pendant la montaison. D'après les paysans, cette technique favorise l'infiltration et permet d'éliminer les mauvaises herbes. La récolte a lieu début octobre : les épis murs, sélectionnés, sont coupés au couteau, la paille est récupérée plus tardivement, progressivement et de façon plus ou moins complète, le bétail consommant ensuite ce qui a pu rester sur place.

On constate que sur les sols sableux, l'orientation des billons est aléatoire, celle-ci est par contre strictement isohypse sur les sols argileux. Il en résulte une mosaïque de champs de quelques ares délimités, surtout sur les plateaux par des murettes de pierres sèches ou simplement des alignements de blocs progressivement extraits du sol.

Les quatre sites expérimentaux retenus se répartissent sur une géoséquence correspondant à une entaille encore vive dans les formations tabulaires du Continental Terminal (grès plus ou moins ferruginisés) et de l'Eocène sous-jacent (marno-calcaires à joints d'argilite). Ces sites se succèdent de la façon suivante :

- site I -

Il comprend trois couples de parcelles : couple A comportant une parcelle naturelle (ancienne jachère) et une parcelle labourée selon les normes de WISCHMEIER (8-9), couple B : deux parcelles à billonnage isohypse, couple C : deux parcelles dont les billons sont parallèles à la ligne de plus grande pente. Il s'agit de sols caractéristiques des plateaux : brun-rouges, sableux, lamellaires sur 5 à 10 cm puis massifs, cohérents, peu poreux, surmontant des grès ferruginisés ou une cuirasse gréseuse qui apparaissent vers 40 à 50 cm. Ces sols ont été cartographiés en "ferrugineux tropicaux, lessivés, sans concrétions, sur placages argilo-sableux" (4, 5, 6, 7).

- site II -

Il y a été installé deux couples de parcelles : A naturelle et labourée, B deux parcelles à billonnage isohypse (le seul pratiqué sur sols argileux). Il s'agit de sols caractéristiques du glacis du piémont (2) différenciés au dépens de marnes et argilites Eocène qui fournissent des sols brun vertiques, argilo-limoneux à structure anguleuse nette sur 20 cm puis prismatique grossière et enfin massive fissurée au-delà de 45 cm. Leur surface est naturellement enherbée et plus ou moins discrètement ensablée (éolisation actuelle).

- site III -

Trois couples de parcelles y ont été aménagés de la même façon que pour le site n° I. Il correspond encore au glacis du piémont, mais, aux sols vertiques caractéristiques du site II, se juxtaposent des sols développés sur des dépôts éoliens anciens comblant plus ou moins les réculées de vallée ; ces sols sont brun-rouges, sableux puis sablo-argileux, massifs, homogènes sur au moins 150 cm. Ils ont été cartographiés en "sols bruns subarides sur remaniements éoliens anciens" (5, 6, 7).

- site IV -

Il comprend deux couples de parcelles aménagées de la même façon que sur le site n° II. Il s'agit de sols de la plaine alluviale très abondamment cultivés en mil, sorgho et quelques rares champs de coton. Les vertisols topolithomorphes y alternent avec les sols bruns sub-arides plus ou moins vertiques en position mieux drainée, couvrant une plus grande superficie et, de ce fait, choisis pour l'installation de ce site IV.

3.1.2. Protocoles expérimentaux retenus

Ils diffèrent sensiblement de ce qui avait été prévu dans le rapport de reconnaissance préliminaire (2) car il est apparu nécessaire de donner une plus grande importance aux modifications du milieu résultant de la mise en culture.

En ce qui concerne les situations expérimentales, nous avons retenu les traitements suivants :

- référence : sol dans son état naturel, c'est-à-dire intact ou tout au moins très anciennement cultivé,
- référence : labour selon les normes de WISCHMEIER,
- imitation du semis, sarclage, billonnage pour pouvoir dégager les réactions suivantes :
 - . suivi de l'hydrodynamique et de l'érosion dans le cas des premières averses tombant sur les anciens billons différemment orientés de l'année précédente,

. suivi de l'hydrodynamique et de l'érosion sur des champs semés et fraîchement sarclés-billonnés.

Pour simuler des évènements climatiques nous avons considéré les données pluviométriques naturelles (10), avons fait varier les hauteurs et intensités des averses et les temps de ressuyage entre celles-ci. Le tableau n° I montre un exemple de protocole expérimental appliqué à un site à trois couples de parcelles et prévoyant la mise en culture d'une des parcelles des couples B et C en cours de protocole.

TABLEAU I : Exemple de protocole expérimental appliqué aux sites I et III.

COUPLES :		A références		B billons isohypses		C billons longitudinaux	
JOURS		parcelles naturelle et labourée		jachère	culture année	jachère	culture année
1	matin soir	60/60'	∞				
2	matin soir	30/100'	10 H				
		60/ 60'	10 H				
3	matin soir			60/60'	∞	60/60'	∞
				30/100'	10 H	30/100'	10 H
4	matin soir			60/60', 60/30'	10 H	semis 10 H	
					4 H	60/60', 60/30'	4 H
				90/25'	10 H	90/25'	10 H
5	matin soir	60/60', 60/30'	60 H				
			4 H				
		90/25'	10 H				
6	matin soir			60/60', 60/30'	36 H		
					1 H.		
7	matin soir	60/60', 60/30'	36 H				
			1 H				
		120,90,60,30	10 H				
			30'				
8	matin soir			120,90,60,30	48 H		60/60'
					30'		60/60'
9	matin soir		24 H				30/100' 10 H
		120/15', 120/15'	1 H				semis 10 H
10	matin soir	F I N			sarclage billonnage	60/60', 60/30'	10 H
						90/25'	4 H
							10 H
11	matin soir			60/60'	60 H	60/60'	160 H
				120,90,60,30	10 H	120,90,60,30	10 H
					30'		30'
12	matin soir			F I N		120,90,60,30	36 H
							30'
13	matin soir						etc... (ido couple B)

LEGENDE D'UNE CASE : Ex. 60/60' 10^H veut dire:averse à 60 mm/h pendant 60' tombant sur un sol ressuyé pendant 10^H.

Ce protocole permet de traiter en une quinzaine de jours six situations expérimentales sur un site donné. Les sols reçoivent entre 10 et 15 averses de 30, 60, 90, 120 mm/h d'intensité, espacées par des laps de temps compris entre 30 minutes et les quelques mois correspondant à la durée de la saison sèche précédent les essais.

3.1.3. Analyse sommaire

Les premiers résultats concernent les ruissellements et infiltrations consécutifs à des pluies simulées sur quelques sites. Les analyses sont basées sur des données caractéristiques issues de programmes de ruissellement. L'hydrogramme théorique présenté dans la figure n° 1 permet de préciser la signification d'une bonne partie des termes et symboles utilisés dans ce rapport.

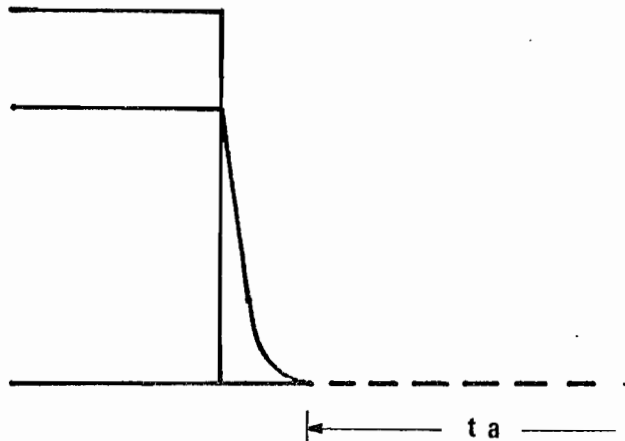
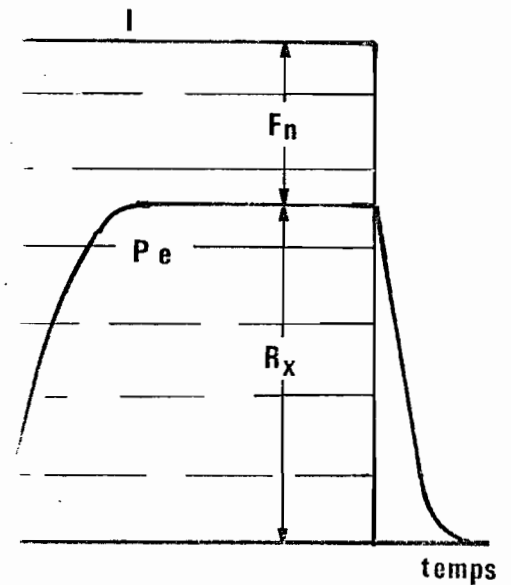


Figure n° 1 : Hydrogramme

- P_i en mm : hauteur de la pluie pendant le laps de temps $t_i - t_0$ pendant lequel le sol reste supérieur à la capacité de rétention du sol ; on compare généralement deux cas extrêmes : pluie d'imbibition sur sol initialement sec, et celle sur sol saturé par des averse.
- R_x en mm/h : valeur maximale de l'intensité de ruissellement pendant la phase de régime.
- I_l sec ou I_l sat. en mm/h : intensité de précipitation limite provoquant le ruissellement ; les intensités maximales du ruissellement pour différentes intensités d'averse s'alignent sur une droite d'équation $R_x = a (I - b)$ et l'abscisse à l'origine est I_l .

Principaux résultats

Il ressort de l'analyse que les ruissellements de la partie des averses simulées sont en fait obtenus à partir de différents programmes de ruissellement. La figure n° 1 permet de préciser la signification d'une bonne partie des termes et symboles utilisés dans ce rapport.



hydrogramme théorique

On remarque que l'intensité de ruissellement correspondante au laps de temps $t_i - t_0$ pendant lequel le sol reste supérieur à la capacité de rétention du sol ; on compare généralement deux cas extrêmes : pluie d'imbibition sur sol initialement sec, et celle sur sol saturé par des averse.

La valeur maximale de l'intensité de ruissellement pendant la phase de régime.

L'intensité de précipitation limite provoquant le ruissellement ; les intensités maximales du ruissellement pour différentes intensités d'averse s'alignent sur une droite d'équation $R_x = a (I - b)$ et l'abscisse à l'origine est I_l .

La droite est I_l ,

Tableau n° II : NIGER. BV GALMI II. DONNEES CONCERNANT LE RUISSELLEMENT

Situations expérimentales			1		2		3		4		5	
sites	couples	parcelles	Pi (mm)		Ii (mm)		Fn mm/h		Kre %	Kru %	SW mm	
			sec	sat.	sec.	sat.	sec.	sat.			e	f
I	A pente 0,5%	naturelle(2)	7,4	1,0	10,1	6,8	10,1	6,8	79,7	74,6	90	123
		Wisch. (1)	9,5	1,0	12,9	8,5	12,9	8,5	78,1	73,2	99	132
	B 1,5%	jachère (1)	13,4	1,5	-	6,4	-	0,67 I + 2,1	18,1	16,4	300	426
		jachère (2)	18,1	1,2	21,1	4,2	0,56I+9,3	0,33 I + 2,8	32,9	29,7	274	326
	C 0,9%	jachère (1)	13,7	1,5	(50)	20,7	→	0,61 I + 8,1	10,6	9,7	317	461
		cultivée(2)	9,7	1,1	-	-	-	-	c:52,4 d:37,9	48,2 31,1	153 204	175 (260)
II	A 2,9%	naturel (2)	6,4	1,7	(15)	7,5	(15)	0,04 I + 7,2	74,4	69,0	113	159
		Wisch. (1)	11,1	0,8	(15)	10,5	(15)	10,5	74,4	69,7	111	155
	B 3,4%	jachère (2)	13,5	1,0	(10)	1,3	(10)	1,3	81,7	76,1	104	126
		cultivée(1)	11,2	1,0	(15)	3,3	(15)	0,10I + 3,0	c:71,6 d:67,3	68,7 61,7	97 127	132 172
III	A 3,5%	naturel (2)	7,2	-	(15)	a: 6,8	↗	0,19 I + 5,5	-	-	-	-
			0,6	-	-	b:15,8	↗	0,06 I +14,9	-	-	-	-
		Wisch. (1)	7,8	-	(5)	a: 5,7	↗	0,03 I + 5,6	-	-	-	-
			-	-	-	b:10,7	↗	0,08 I + 9,9	-	-	-	-
	B 2,8%	jachère (2)	11,4	-	-	3,7	↗	0,17 I + 3,0	-	-	-	-
		cultivée(1)	15,0	-	13,1	6,8	0,07I+12,2	6,8	-	-	-	-
C 3,0%	jachère (2)	11,2	-	(8)	3,9	-	0,11 I + 3,4	-	-	-	-	
	cultivée(1)	11,5	-	(15)	11,3	(15)	11,3	-	-	-	-	
IV	A 2,0%	naturel (2)	10,6	0,7	(15)	10,1	(15)	0,03 I + 9,9	-	-	-	-
		Wisch. (1)	11,6	0,6	(12)	8,7	↗	0,11 I + 7,7	-	-	-	-
	B 2,5%	jachère (1)	4,1	-	(20)	7,8	(20)	0,15 I + 6,6	-	-	-	-
		cultivée(2)	10,3	-	-	4,0	-	0,20 I + 3,2	-	-	-	-

NB : a : pour ta d'environ 10 H
b : pour ta entre 0,5 et 1 H
c : avant sarclage-billonnage
d : après sarclage-billonnage
e : pour SPu = 355 mm (année sèche)
f : pour SPu = 520 mm (moy. interan.)

Valeur () : effectif de données encore faible

- Fn sec ou Fn sat. en mm/h : valeur minimum de l'intensité d'infiltration observée pendant la phase de régime permanent du ruissellement, comme nous le verrons, deux cas peuvent se présenter en relation avec les caractéristiques des sols : Fn est une fonction croissante ou une fonction constante de I,
- (3)
- Kr en % : coefficient de ruissellement qui est le rapport de SL, hauteur de la lame ruisselée cumulée x 100 sur la hauteur des précipitations cumulées SP ; il est souvent intéressant de comparer $K_{ru} = 100 \text{ SL/SPu}$ qui est le coefficient de ruissellement utile et $K_{re} = 100 \text{ SL/SPE}$.. le coefficient de ruissellement efficace calculé, lui, uniquement sur la hauteur de pluie ayant effectivement donné lieu au ruissellement,
- (4)
- SW en mm : lame d'eau infiltrée cumulée, dans le tableau n° II nous avons calculé à l'aide des droites de régression de $SW = f(\text{SPu})$ les valeurs de SW pour $\text{SPu} = 355 \text{ mm}$ qui est une hauteur de fréquence décennale sèche et $\text{SPu} = 520 \text{ mm}$ qui est la moyenne interannuelle des précipitations.

3.1.3.1. Pluie d'imbibition

Les valeurs retenues dans le tableau n° II concernent les pluies d'imbibition résultant d'averses à 60 mm/h tombant soit sur des sols initialement secs (Pi sec) soit sur des sols saturés par des averses rapprochées (Pi sat.). Nous allons passer en revue différentes situations expérimentales ayant donné lieu à des dépouillements.

- * Premières averses tombant sur sols initialement secs .
(Pi sec)
- ** sur parcelles naturelles,

Les hauteurs d'imbibition sont voisines sur les parcelles des sites I, II, III et ce , malgré les textures nettement argileuses des sols du site II et des enherbements légèrement plus abondants sur les sols des sites II et III. Dans ces trois cas, la pellicule de battance est presque continue. On note les plus fortes valeurs sur les sols argileux du site IV (Pi sec = 10,6 mm) où le piétinement du bétail, manifestement plus abondant et brisant en de nombreux endroits la pellicule, a permis d'ouvrir de nombreuses communications avec les horizons fortement structurés sous jacents.

- ** sur parcelles labourées (WISCHMEIER),

Les gains d'infiltration dus au labour sont dans tous les cas modestes : 0,6 à 4,7 mm ; ceci traduit une stabilité structurale très médiocre des mottes de labour qui se désagrègent rapidement et dont les éléments colmatent rapidement les porosités ouvertes artificiellement ; à noter un effet légèrement plus durable sur les sols vertiques argileux du site II et par contre un effet très fugace sur les sols sableux du site III.

** sur les parcelles en jachère (reliquat du billonnage de l'année précédente)

Les couples B correspondent aux billons isohypses, les couples C aux billons parallèles à la ligne de plus grande pente donc au plus grand côté de la parcelle, soit 10 m de longueur de versant. Ces billons très émoussés sont équidistants de 100 cm et ont une amplitude oscillant entre 10 et 15 cm. L'observation des résultats amène trois remarques : a) sur une jachère de l'année, l'orientation des billons ne joue pour ainsi dire pas (cf. sites I et III où les deux orientations sont représentées), b) on note une remarquable similitude des hauteurs infiltrées quels que soient les types de sol : Pi sec de 11,2 à 13,7 mm, c) la rugosité provoquée par le billonnage amène une infiltration supplémentaire de 4 à 7 mm sauf sur les sols du site IV où le pâturage du bétail a été le plus important et a aplani peu de temps après la récolte les champs de l'année. L'identité de comportement des deux orientations de billons est imputable aux nombreuses ruptures de seuils sur les isohypses canalisant de ce fait le ruissellement comme sur des parcelles à billonnage longitudinal.

** sur les parcelles nouvellement sarclées - billonnées

Les hauteurs d'imbibition, non reportées sur le tableau n° II, concernent la 4ème ou la 5ème averse tombant sur des sols fraîchement billonnés, les données correspondent ainsi à des sols humides mais ressuyés ; les gains d'infiltration par rapport à des sols identiquement humides mais non retravaillés oscillent entre 5 et 15 mm mais ils ne semblent pas extrêmement durables.

* Averses tombant sur des sols saturés (Pi sat)

Les résultats sont encore partiels mais l'on constate une convergence de comportement quels que soient les types de sol et leurs traitements ; Pi sat semblent souvent voisin de 1 mm.

3.1.3.2. Intensités limites provoquant le ruissellement

* Sur parcelles naturelles

Les valeurs se regroupent vers 15 mm/h pour les sols secs des sites II, III et IV mais l'on note un démarrage plus rapide du ruissellement sur les sols secs du site I (10,1 mm/h). Les variations observées avec les temps de ressuyage montrent que les comportements sont plus ou moins dépendants de l'humectation antérieure des sols, en ce sens le classement des comportements est le suivant :

faible dépendance aux temps d'arrêt \longrightarrow forte dépendance

parcelles : I A 2, IV A 2, II A 2

L'infiltrabilité est fortement contrôlée par les pellicules de battance des sols dénudés des sites I et IV et l'on note aussi que les humidités préalables sont à l'origine des plus grandes variations sur les parcelles relativement plus enherbées (II). On remarque enfin, un comportement relativement anormal des parcelles du site III où l'on retrouve, sur sols saturés en fin des essais, des intensités limites proches de celles du sol sec après une dimi-

nution pour des conditions d'humectation intermédiaires correspondant à 10 heures de ressuyage (cf. tableau n° II, a et b) ; pour le moment nous attribuons cette reprise de l'infiltration à des modifications de l'état de la parcelle en fin de protocole, ceci pourra être précisé par une analyse des différentes modalités de l'érosion sur cette parcelle.

* Sur parcelles labourées (WISCHMEIER)

Les comportements des sols des différents sites sont voisins. L'humectation antérieure devient moins importante que la formation d'une pellicule peu perméable. L'effet du labour n'est perceptible que sur les sols du site I, nul sur ceux du site II, et négatif sur ceux des sites III et IV. On retrouve comme précédemment une anomalie de comportement du site III avec des intensités limites deux fois plus importantes en fin de protocole.

* Sur les parcelles en jachère

L'augmentation de l'infiltration consécutive au billonnage n'est sensible que sur les parcelles sèches des sites I et IV les moins pentues. On constate d'autre part, que la succession des averses continue à diminuer la rugosité des parcelles en détruisant des seuils et en créant des drains préférentiels d'où des intensités limites sur sol humide souvent plus faibles que celles des parcelles de référence naturelles ou labourées. A noter une anomalie de comportement au niveau de la parcelle I C 1 due à de multiples retenues créées artificiellement près des tôles de bordure (correspondance imparfaite entre l'alignement des billons et la ligne de plus grande pente guidant l'orientation des parcelles).

* Sur les parcelles nouvellement sarclées - billonnées

Les données sont encore trop peu nombreuses pour dégager nettement les effets de ce traitement. Les gains sur sols ressuyés semblent importants mais fugaces et s'expliquent comme précédemment (§ 3.1.3.1.) par une désagrégation rapide des mottes et la rupture en chaîne de certains billons isohypse (II B 1, III B 1, IV B 2).

3.1.3.3. Intensité minimale d'infiltration (phase du régime permanent du ruissellement)

L'examen du tableau n° II et des figures n° 2 à 7 montre qu'il existe plusieurs types de comportement déjà mis en évidence dans quelques études antérieures (11,12,13) : dans un premier cas (figures n°3,7 Bp.ex.), l'intensité minimale d'infiltration est une fonction croissante de l'intensité des pluies, dans le second cas c'est une constante (figures n°2-5 p.ex), il peut arriver, beaucoup plus rarement d'observer une diminution sensible de l'intensité d'infiltration en fonction des intensités des averses ; plusieurs explications correspondant à chacun de ces cas peuvent être proposées.

Figure n° 2 : NIGER. BV de GALMI - site I - couple A - parcelles A₁ et A₂ - Intensités minimales d'infiltration en fonction des intensités des pluies pour des temps d'arrêt très grands (points A et D), voisins de 10H (B-E), compris entre 0,5 et 1H (C-F).

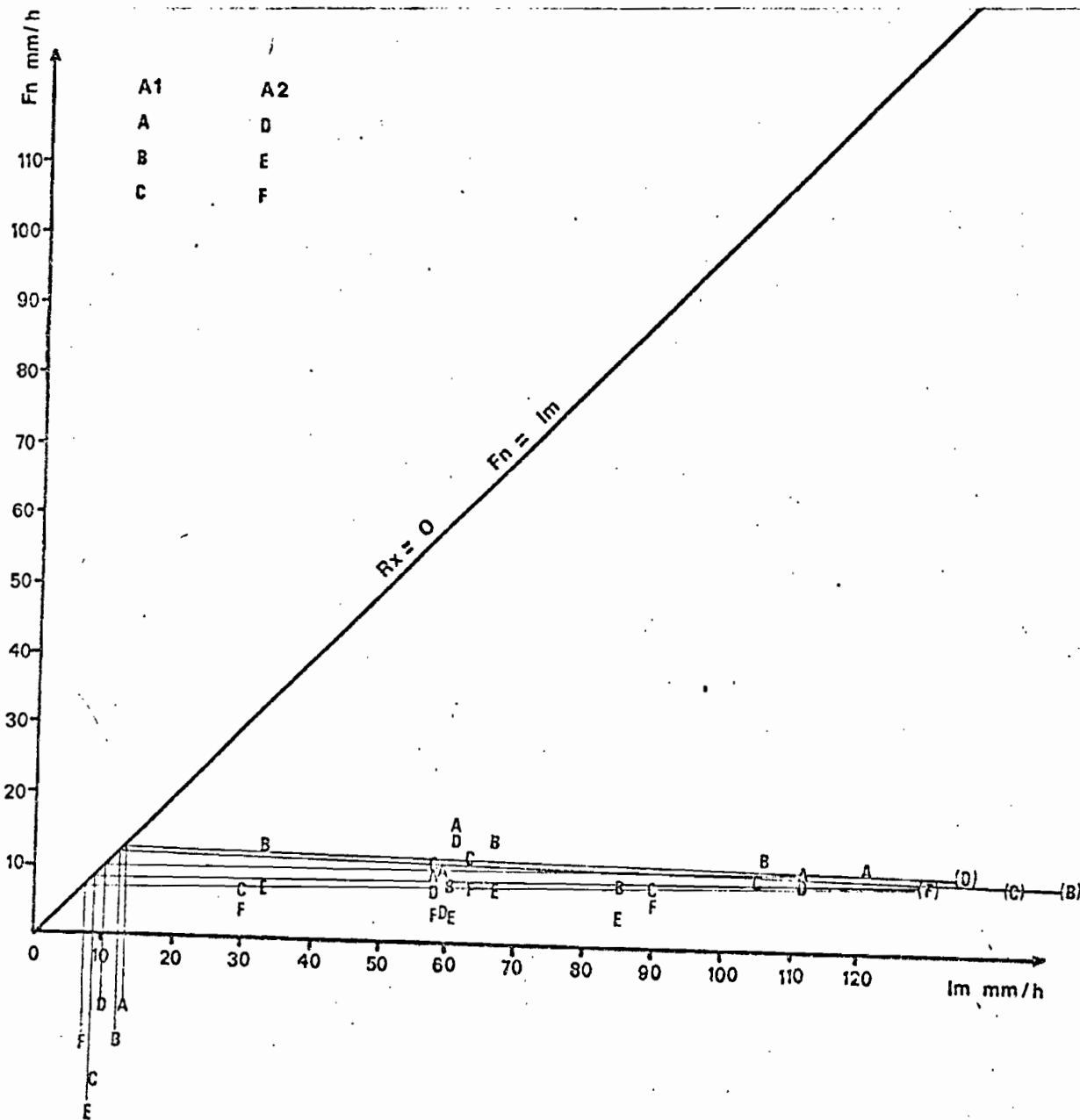


Figure n° 3 : NIGER. BV de GALMI - site I - couples B et C parcelles B₁, B₂ et C₁, C₂ - Intensités minimales d'infiltration en fonction des intensités des pluies, pour des temps d'arrêt très grands (D), voisins de 10^H (B-E), compris entre 0,5 et 1^H (C-F).

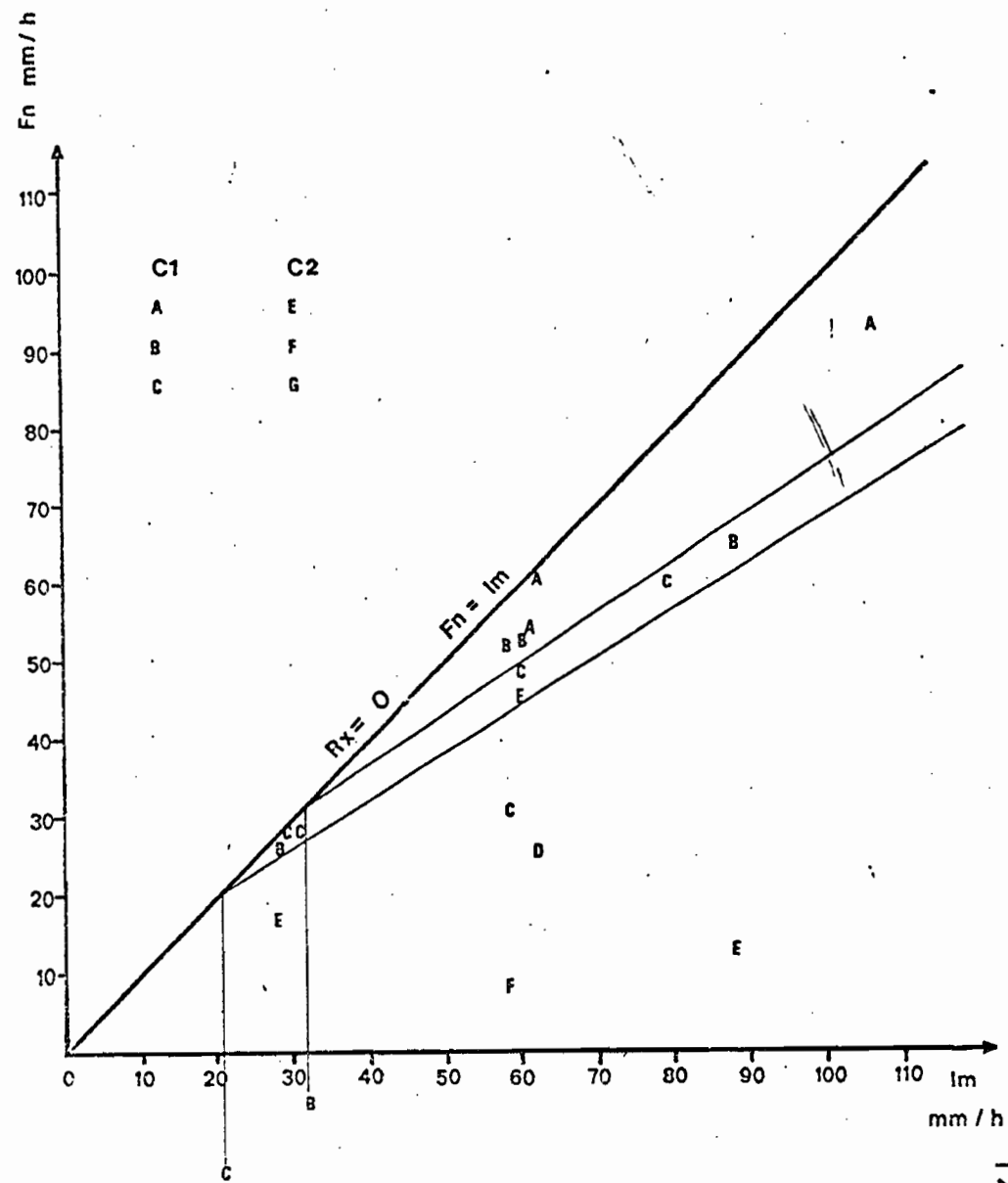
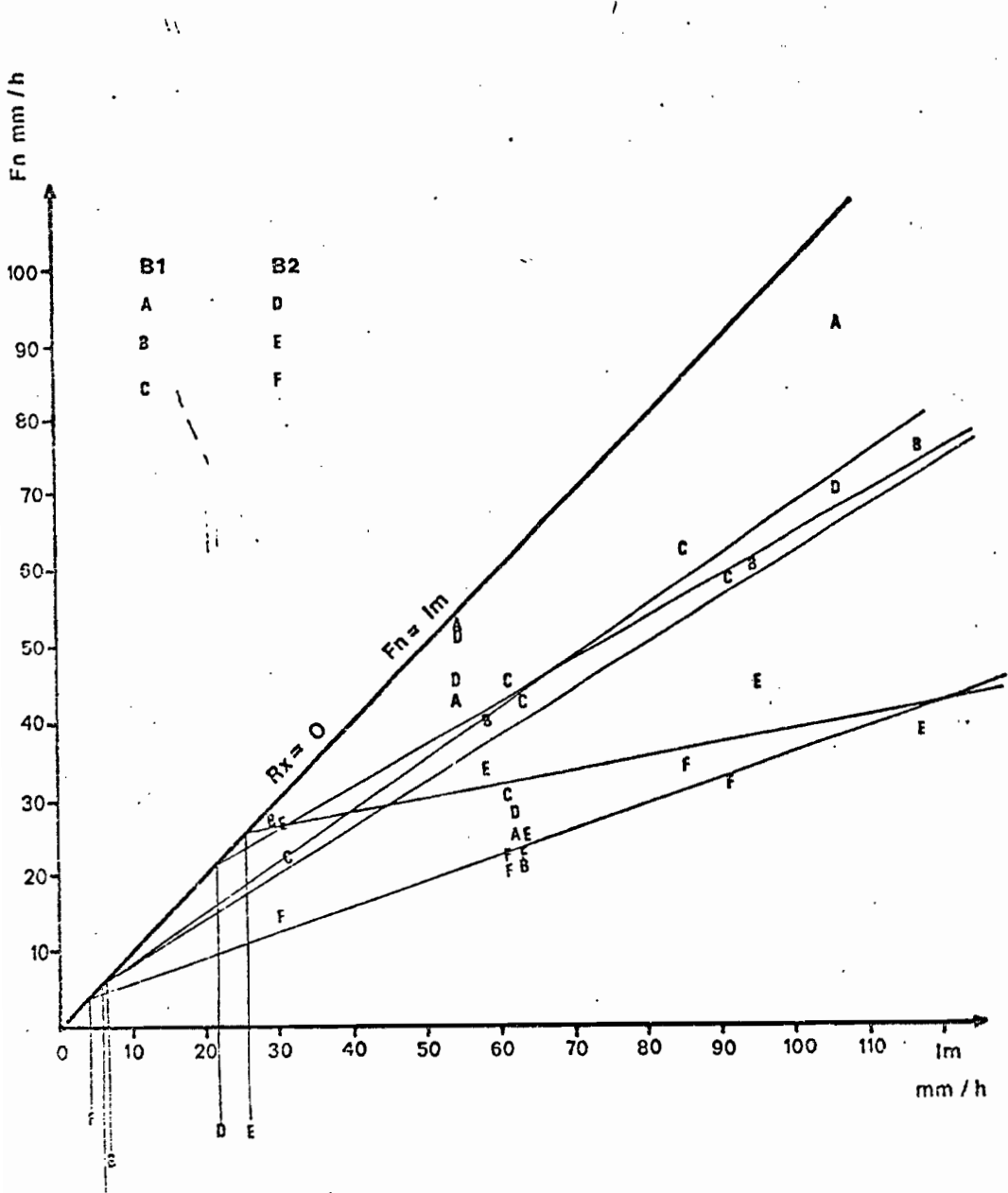


Figure n° 4 : NIGER. BV de GALMI - site II - couples A et B parcelles A₁, A₂ et B₁, B₂ - Intensités minimales d'infiltration en fonction des intensités des pluies, pour des temps d'arrêt très grands (A-D), voisins de 10^H (B-E), compris entre 0,5 et 1^H (C-F).

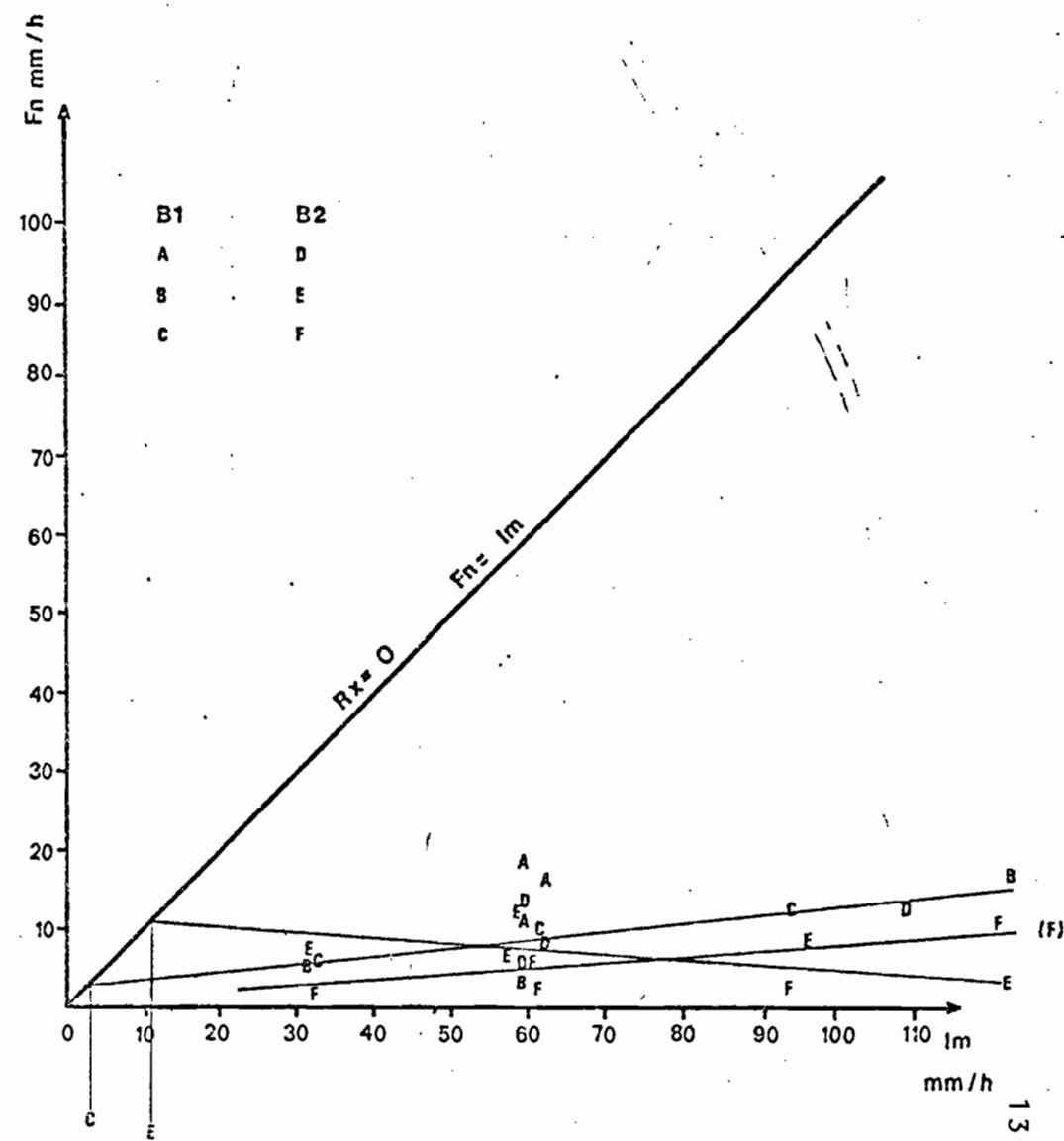
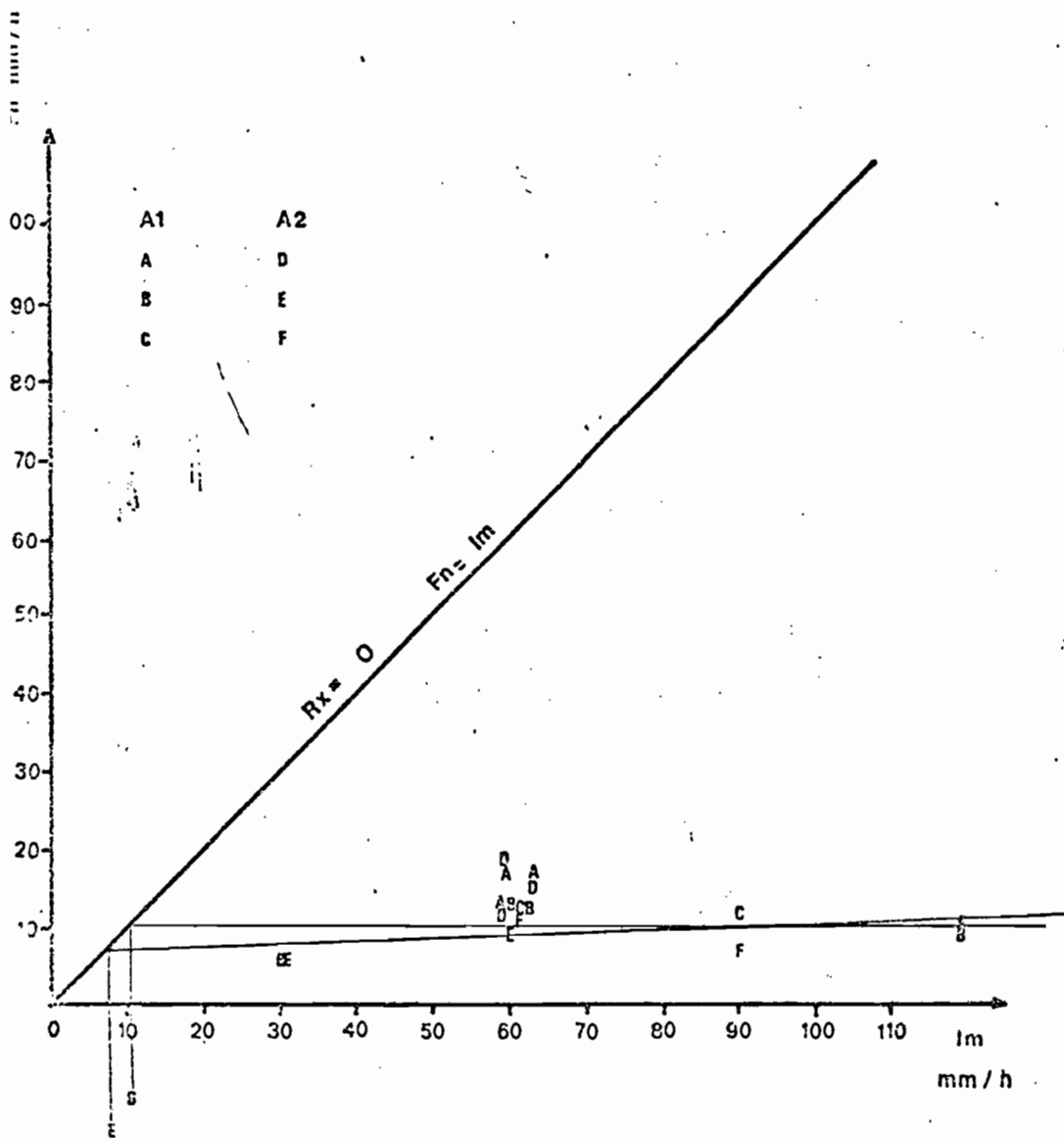


Figure n° 5 : NIGER. BV de GALMI - site III - couple A - parcelles A₁ et A₂ - Intensités minimales d'infiltration en fonction des intensités des pluies, pour des temps d'arrêt très grands (A-D), voisins de 10H (B-E), compris entre 0,5 et 1H (C-F).

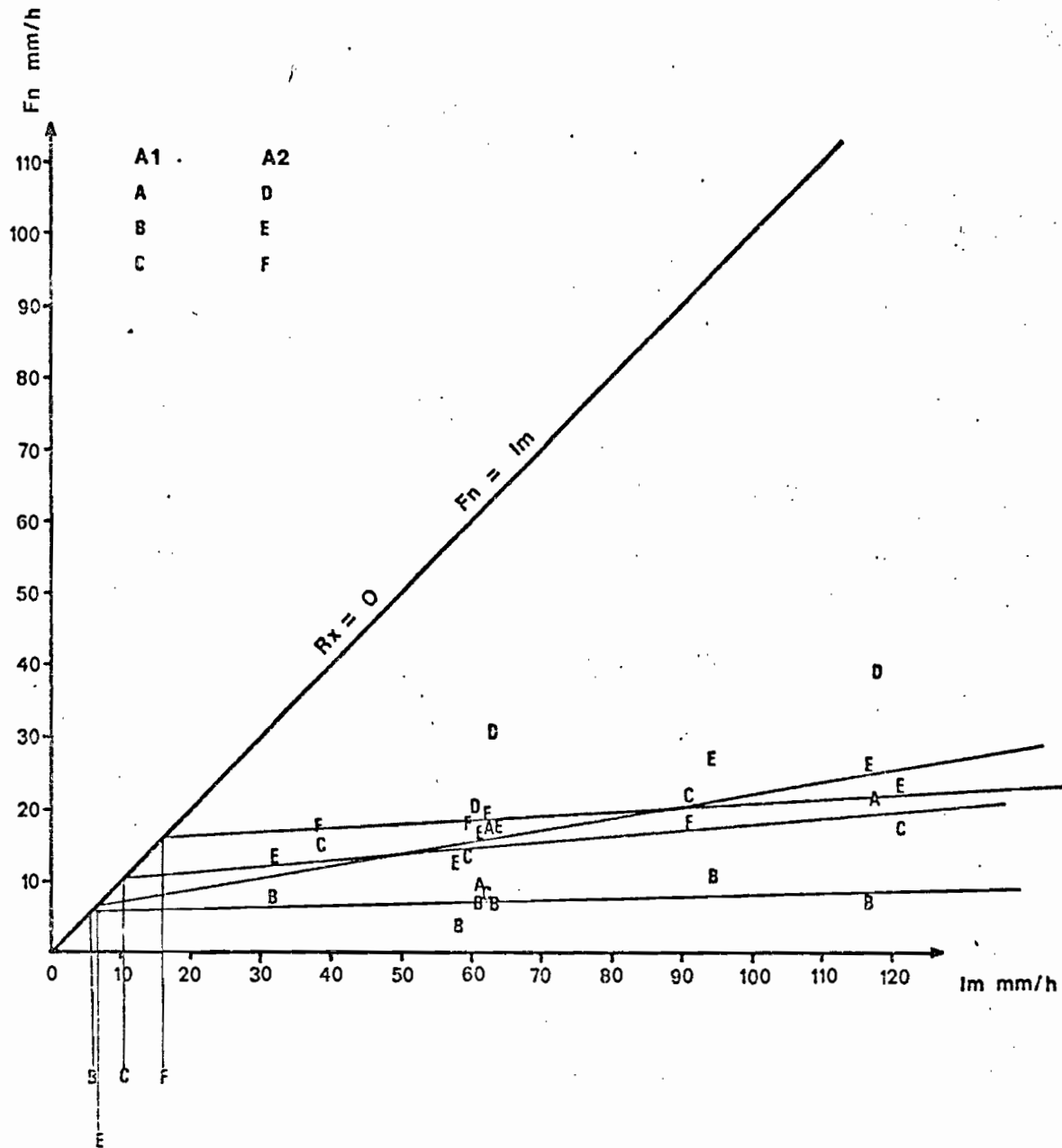


Figure n° 6 : NIGER. BV de GALMI - site III - couples B et C - parcelles B₁, B₂ et C₁, C₂ - Intensités minimales d'infiltration en fonction des intensités des pluies pour des temps d'arrêt très grands (A-B); voisins de 10H (C-D), compris entre 0,5 et 1H (E-F).

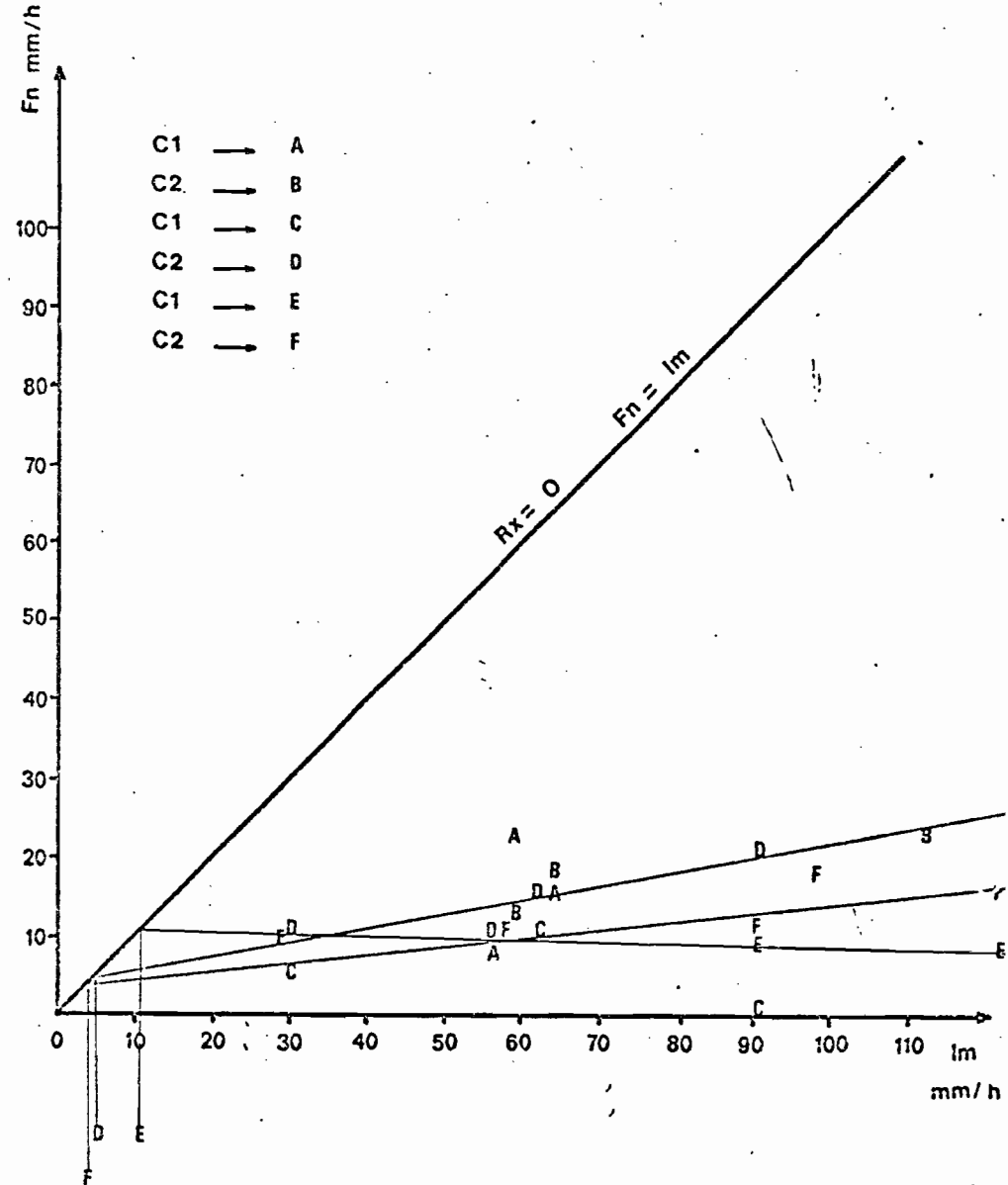
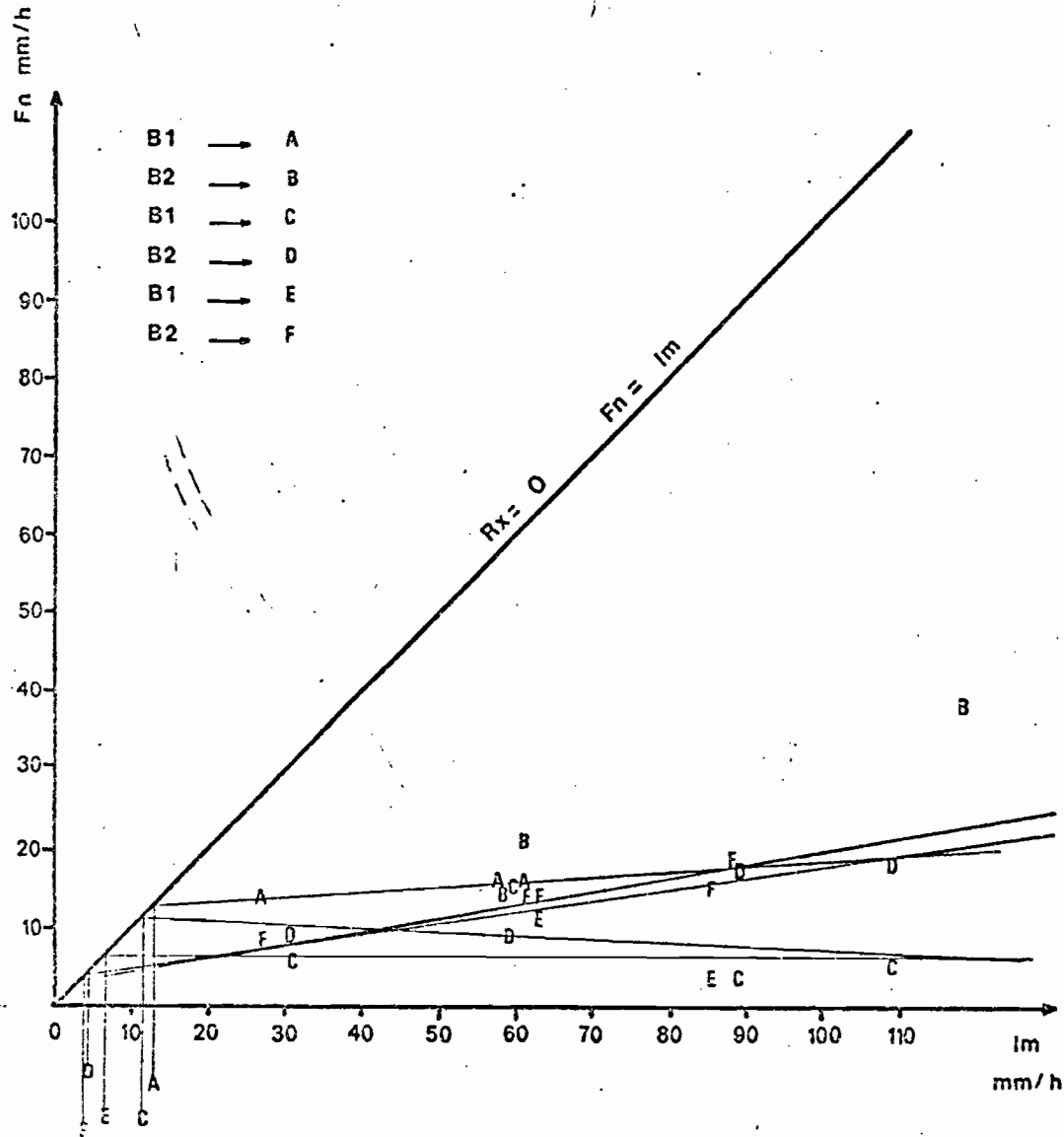
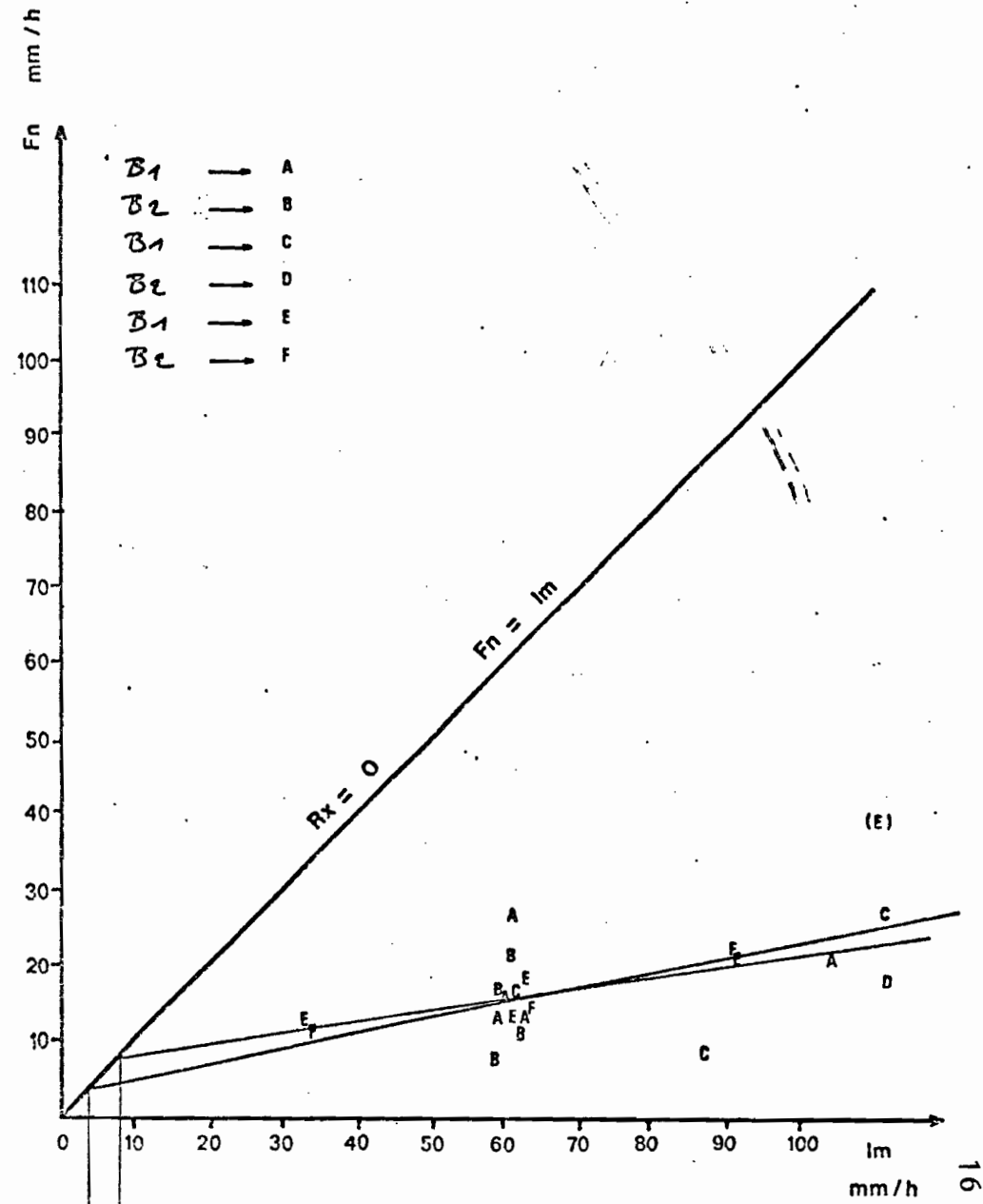
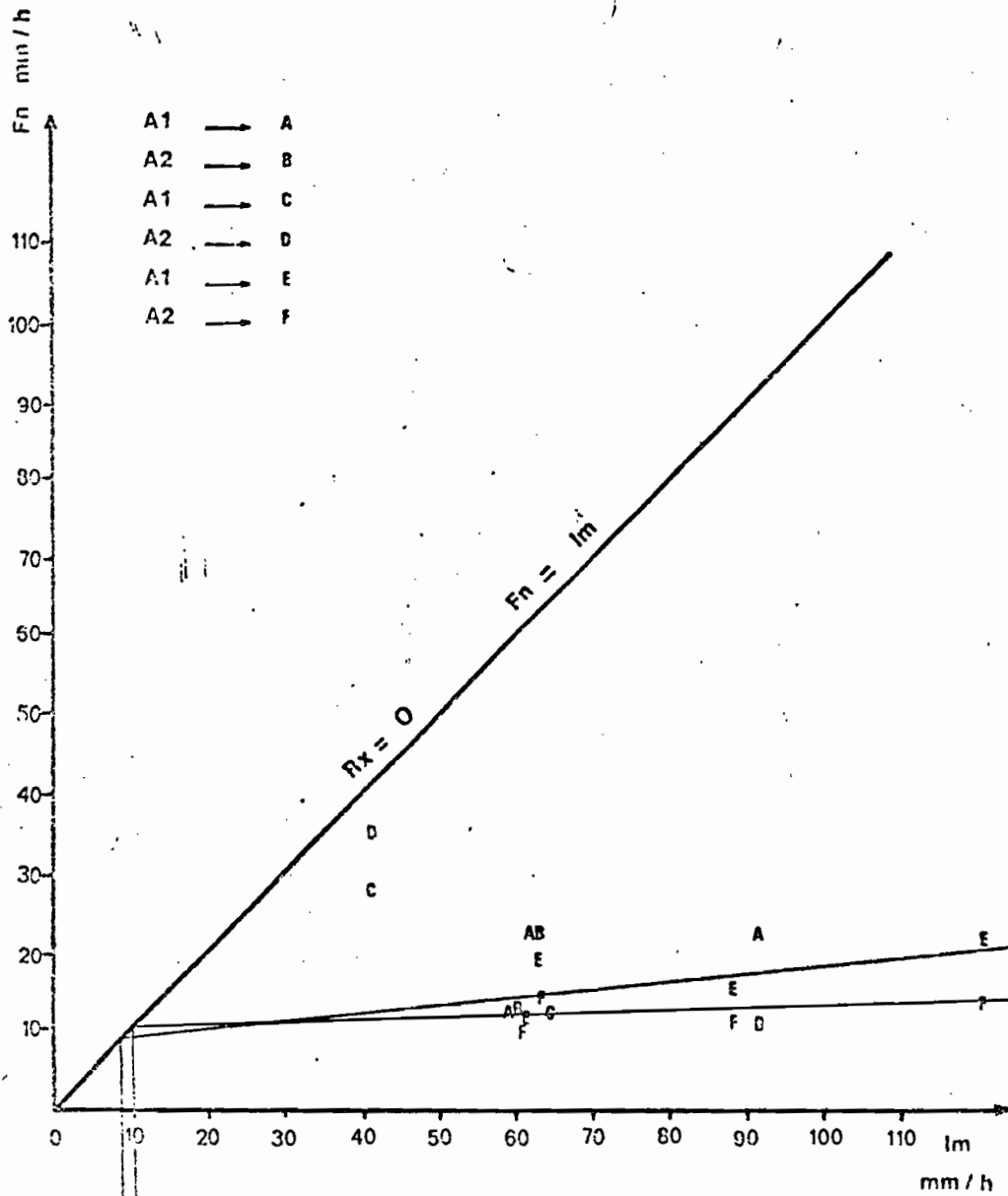


Figure n° 7 : NIGER. BV de GALMI - site IV - couples A et B - parcelles A1, A2 et B1, B2 - Intensités minimales d'infiltration en fonction des intensités des pluies pour des temps d'arrêt très grands (points A-B), voisins de 10^H (point C-D), compris entre 0,5 et 1H (point E-F).



Lorsqu'il s'agit d'une fonction croissante, la perméabilité de la parcelle est hétérogène, si en certains points l'intensité de la pluie est plus élevée que l'intensité d'infiltration, on a un refus d'infiltration de valeur maximale R_x , ceci sur une superficie de $p \%$ telle que :

$$R_x = p (I - I_1)$$

ce ruissellement local peut être par contre repris dans les zones de superficie $1 - p$ plus perméables, soit entièrement lorsque l'intensité de l'averse est située en deçà de l'intensité limite du ruissellement (aucun ruissellement à l'exutoire), soit partiellement pour des intensités d'averse devenant supérieures à I_1 . L'absorption des ruissellements locaux excédentaires par les zones à forte perméabilité va aller en diminuant au fur et à mesure de l'augmentation des intensités d'averses. Pratiquement cette hétérogénéité de perméabilité peut avoir différentes origines : micromodelé naturel, ou artificiel consécutif au travail du sol, mode de répartition et structure du couvert végétal, affleurement d'éléments grossiers, modifications des modalités de l'érosion amenant un cisaillement de la surface du sol. Au delà d'une certaine intensité d'averse, on peut supposer que la totalité de la parcelle est couverte par une lame d'eau et participe dès lors au ruissellement et l'on a $p = 1$; au niveau de l'exutoire, l'intensité minimale d'infiltration devient indépendante de l'intensité des pluies et dès lors :

$$F_n = I_1$$

on se trouve placé dans le second cas...

Lorsque F_n est une constante, on peut considérer deux choses :

- la parcelle possède d'emblée une perméabilité homogène, ce qui est le cas de sols remarquablement plans, lissés, dénudés, sur lesquels se constitue très facilement et rapidement une lame d'eau ruisselante couvrant la totalité de la parcelle ($p = 1$),
- la perméabilité est hétérogène, comme dans le cas précédent, mais l'intensité de la pluie dépasse rapidement la perméabilité maximale de la parcelle or la précision de la mesure ne permet généralement pas de mettre en évidence cette petite phase transitoire pendant laquelle F_n est une fonction croissante de I .

Le troisième type de comportement, F_n fonction décroissante de I , n'a jusqu'alors été observé que trois fois pour une trentaine de dépouillements (cf. figures 4 B - 6) ; il faut donc rester prudent sur les interprétations possibles, ce comportement pourrait traduire une participation plus importante d'horizons moins perméables sous-jacents.

La comparaison des différentes situations expérimentales amène les remarques suivantes :

- un assez grand nombre de parcelles en jachère se comporte comme des sols à perméabilité hétérogène, les intensités d'infiltration continuant à augmenter au-delà d'averses à 120 mm/h, il s'agit des parcelles I B1 et C1, III B1 et C1, IV B1 ... et l'on constate que les sols de plateau ont les plus fortes capacités d'absorption.

- pour un site donné, les superficiés de parcelle ruisselant d'emblée dépendent peu de l'orientation des anciens billons : 37 et 39 % sur les couples B et C du site III, l'effondrement des billons dû aux pluies et piétinements divers se traduit par une proportion équivalente de seuils et de drains.
- les parcelles naturelles ou labourées réagissent comme des parcelles à perméabilité homogène ou presque homogène : l'intensité d'infiltration reste constante et correspond à l'intensité limite provoquant le ruissellement ; ces parcelles sont planes (naturelles) ou s'aplanissent rapidement (labourées), les infiltrations sont contrôlées par une pellicule de battance ancienne ou se reconstituant rapidement.

3.1.3.4. Coefficients de ruissellement

Le coefficient de ruissellement utile (K_{ru} %) intègre l'influence des paramètres conditionnant le ruissellement pendant ses quatre phases caractéristiques (phase d'imbibition, régime transitoire, régime permanent, phase de vidange). Il permet donc une comparaison immédiate et globale de l'hydrodynamique de différents sols.

Il est souvent intéressant de comparer ce coefficient de ruissellement utile avec le coefficient de ruissellement efficace (K_{re} %) qui ne concerne que le rapport : lame ruisselée/pluie efficace. La comparaison des deux coefficients permet par exemple d'apprécier la part revenant à la phase d'imbibition.

Les dépouillements n'étant que partiels, il n'est possible de comparer que les sols du site I (sableux sur plateau) avec ceux du site II (argilo-limoneux vertiques des versants).

* Sur parcelles en leur état naturel

Les différences de coefficient de ruissellement utile ne sont pas très importantes : 7 % de moins pour le site II et les comportements globaux sont voisins malgré des sols extrêmement différents. Les coefficients efficaces sont également peu différents d'un site à l'autre et pour un site donné restent voisins à 5 % près des coefficients utiles. Cette convergence de comportement est bien évidemment due à la présence des pellicules superficielles contrôlant fortement l'infiltration ce qui est confirmé dans les deux cas par les faibles hauteurs de pluie d'imbibition.

* Sur parcelles labourées (WISCHMEIER)

Les gains attribuables au labour sont insignifiants sur le site I et nuls sur le site II.

* Sur les parcelles en jachère

Les effets du sarclage-billonnage de l'année précédente sont persistants sur les sols du site I où l'on constate une diminution d'environ 50 % du ruissellement sur le billonnage isohypse. Nous ne pouvons par contre pas tenir compte des coefficients de la parcelle I C 2 pour les raisons déjà évoquées dans le § 3.1.3.2.

On constate que sur le site II, cette technique a laissé un champ où les multiples ruissellements se trouvent canalisés par les ruptures des billons isohypsés ; la pente intervient également mais nous manquons encore de données pour pouvoir évaluer plus strictement son effet.

* Sur les parcelles nouvellement sarclées-billonnées

Le sarclage-billonnage longitudinal sur le site I amène un gain d'infiltration atteignant 17 %, sensiblement plus important que celui du site II (7 %) où ce nouveau billonnage est cependant isohypse ; ce résultat quelque peu surprenant peut s'expliquer par les actions conjuguées de la texture et de la pente : sur les sols vertiques du site II la désagrégation des mottes fournit un matériau fin colmatant rapidement les interbillons qui débordent rapidement (P_i sur sol ressuyé = 7,5 mm) tandis que se produit une rupture en chaîne des billons amenant une érosion régressive ; sur le site I la désagrégation des mottes fournit un matériau plus grossier ménageant encore certaines porosités (P_i sur sol ressuyé = 17 mm).

3.1.3.5. Lames infiltrées

Nous avons calculé pour les sols des sites I et II les lames d'eau infiltrées pour des hauteurs annuelles de fréquence décennale sèche ($SP_u = 355$ mm) et pour une moyenne interannuelle ($SP_u = 520$ mm) ces différents résultats sont regroupés sur le tableau n° II et les figures n° 8 et 9 . Il apparaît des regroupements remarquables de hauteurs infiltrées cumulées pour les sols en leur état naturel des sites I et II : environ 100 mm pour une pluviométrie annuelle de fréquence décennale sèche. On notera encore ici la faible influence du labour. La divergence de comportement mentionnée précédemment en ce qui concerne les sols en jachère réapparaît :

- rémanence d'une action positive du billonnage qu'il soit isohypse ou longitudinal sur le site I avec des infiltrabilités élevées assez bien regroupées (275 à 300 mm pour $SP_u = 355$ mm),
- pas de rémanence de l'effet billon sur le site II où l'on observe même une accentuation du colmatage à partir de 250 mm de pluies utiles cumulées.

En ce qui concerne le site I, l'expression de l'intensité minimale de l'infiltration en fonction des hauteurs infiltrées cumulées antérieures peuvent fournir quelques indications sur un état de saturation théorique au delà duquel la totalité des hauteurs de précipitation ruisselle (figure n° 10 et 11) : F_n est une fonction plus ou moins décroissante de SW (lame infiltrée cumulée) et l'on constate que sur les sols de plateau, les capacités d'absorption potentielles des zones récemment cultivées sont 2 à 4 fois plus importantes que les zones de vieilles jachères.

3.1.4. Conclusion partielle

Comme dans le cas de la première opération sur Oursi, on retrouve des interprétations de données qui commencent à devenir classiques :

- convergences de comportement quel que soit le type de sol du fait de la présence d'une pellicule superficielle généralement peu perméable et contrôlant la conductibilité des premiers centimètres,
- intervention toujours discrète des caractéristiques physiques des horizons de profondeur même lors d'une couverture artificielle (labour) de la porosité superficielle car celle-ci est très fugace du fait de la très médiocre stabilité structurale des agrégats, donc de la reconstitution rapide de nouvelles pellicules.

Il a été constaté que les premières averses tombant sur des sols non encore travaillés donnent rapidement lieu à du ruissellement important. Les différences d'infiltrabilité entre sols nus, non cultivés et jachères billonnées de l'année précédente sont importantes sur les sols du plateau, mais par contre insignifiantes sur les sols les plus argileux du versant. Il est apparu que les orientations des billons de l'année précédente avaient peu d'influence sur l'infiltration ; en dehors d'un effet pente probable mais non encore précisé il est vraisemblable que cette uniformisation est en grande partie due au piétinement du bétail pâturant les jachères.

Sur les sols dénudés, plans, lisses, les intensités d'infiltration atteignent rapidement une valeur pallier indépendante des intensités d'averse ce qui n'est pas le cas des sols billonnés, plus ou moins enherbés où la porosité globale semble hétérogène et où les infiltrations augmentent avec ces intensités d'averses (au moins jusqu'à $I = 120 \text{ mm/h}$).

3.2. ACTION DANS LA CUVETTE D'AGADEZ

3.2.1. Choix des sites

Il a été guidé par deux problèmes à résoudre, déjà évoqués dans le chapitre 3 :

- alimentation en eau de la cuvette d'Agadez à partir des Kori (principalement le Téloua) et par le ruissellement en nappe provenant des versants rocheux sur grès et sur granite,
- alimentation en eau de nappes de la cuvette par les zones exondées, à ce niveau on peut distinguer sur les versants rive droite
 - . les surfaces sur granite
 - . les surfaces sur grès,

qui constituent les deux premiers sites, et, à l'intérieur de la cuvette :

- . les sols d'apports sableux situés en amont de la cuvette et en bordure des kori,
- . les sols d'apports argileux situés à l'aval de la cuvette et en limite aval des regs

... d'où deux autres sites bien caractéristiques. Nous avons par contre abandonné dans la cuvette les sites médians beaucoup trop hétérogènes qui avaient été initialement retenus (2).

Cette note présentera ainsi les premiers résultats obtenus sur :

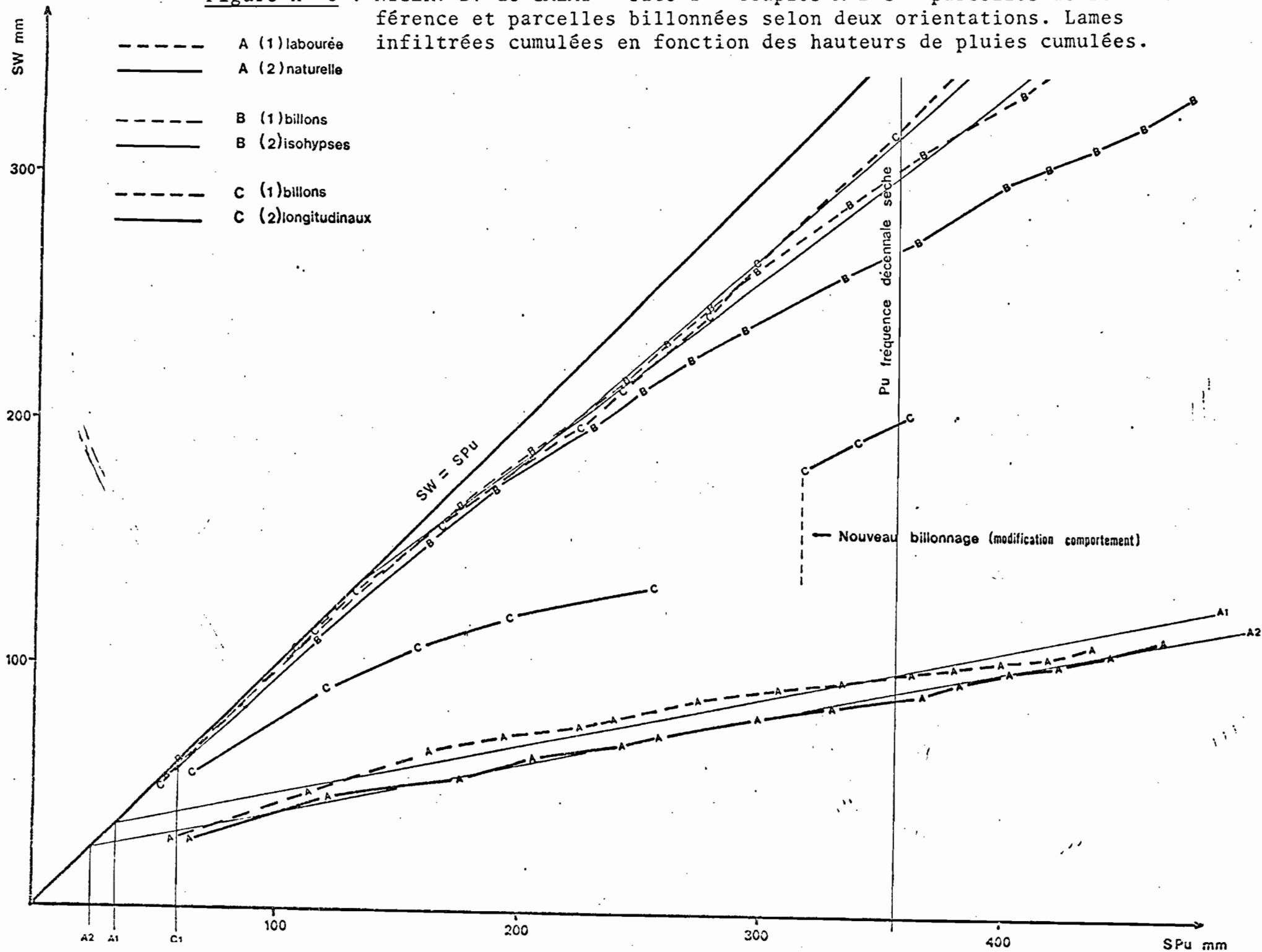
- les sols d'apports sableux : site O
- les sols sur reg de grès : site P
- les sols sur reg de granite : site Q
- les sols d'apports argileux : site R.

Sur chaque site on détermine deux situations expérimentales :

- parcelle état "naturel", sol tel qu'on le découvre, étanchéification des bordures au goudron pour assurer un contact correct,
- parcelle labourée sur 10 cm (traitement type WISCHMEIER) - le terme "labour" est ici impropre et ne doit pas faire illusion - il s'agit principalement d'évaluer l'importance des perturbations des premiers centimètres du sol sur l'hydrodynamique.

Au niveau des sites O et P retenus ici comme exemples les sols se présentent de la façon suivante :

Figure n° 8 : NIGER. BV de GALMI - site I - couples A-B-C - parcelles de référence et parcelles billonnées selon deux orientations. Lames infiltrées cumulées en fonction des hauteurs de pluies cumulées.



Pu moyenne interannuelle

Figure n° 9 : NIGER. BV de GALMI - site II - couples A-B - parcelles de référence et parcelles billonnées isohypse. Lames infiltrées cumulées en fonction des hauteurs de pluies cumulées.

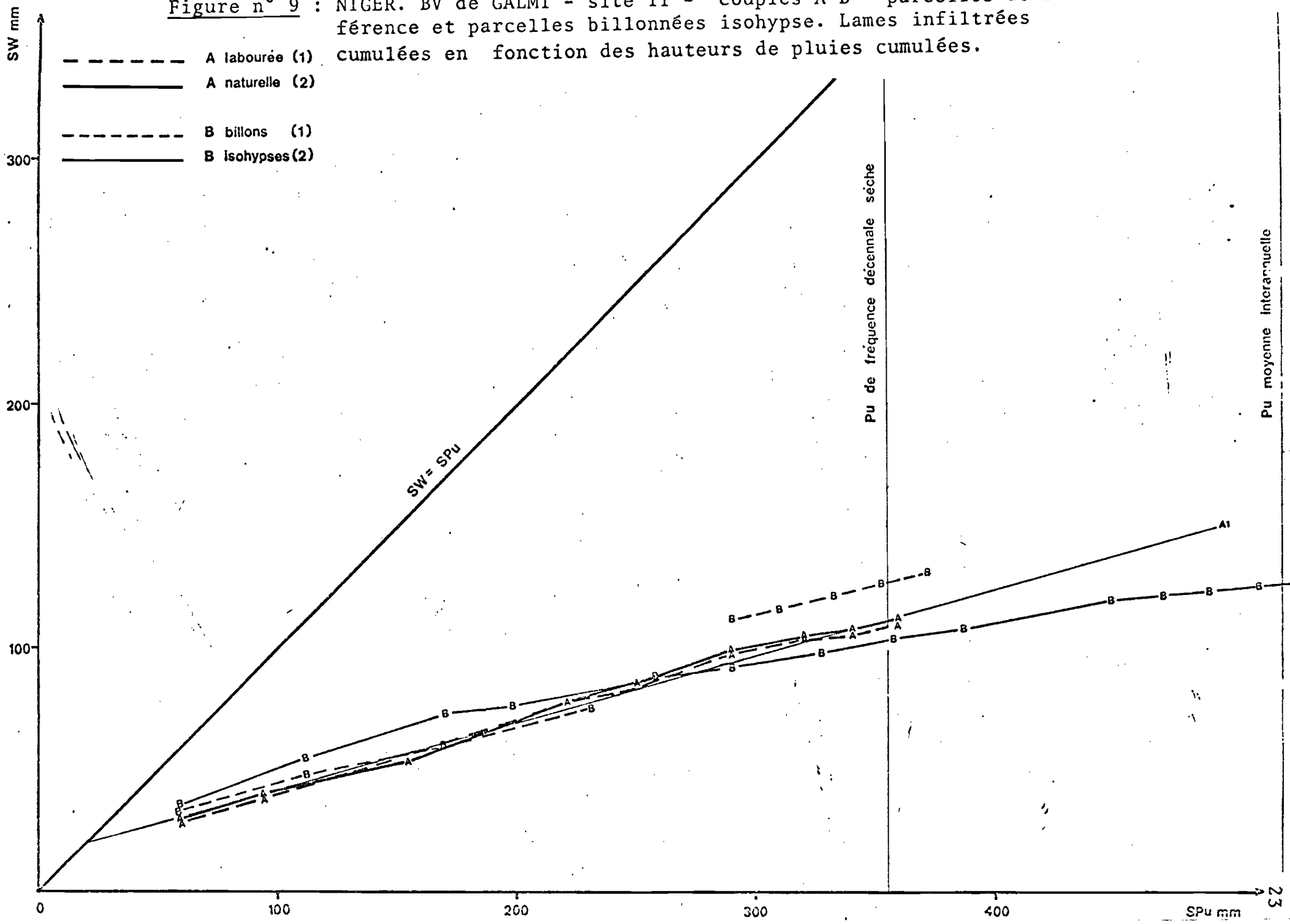


Figure n° 10 : NIGER. BV de GALMI - site I - couples A-B-C parcelles de référence (nature A₂, labour A₁) billonnées isohypse (B₁-2) billonnées longitudinalement (C₁ - 2) - Evaluation des états de saturation théorique par l'expression : $F_n = f(SW \text{ antérieure})$ pour $I = 60 \text{ mm/h}$ et toute une gamme de temps d'arrêt (chiffres entre parenthèses).

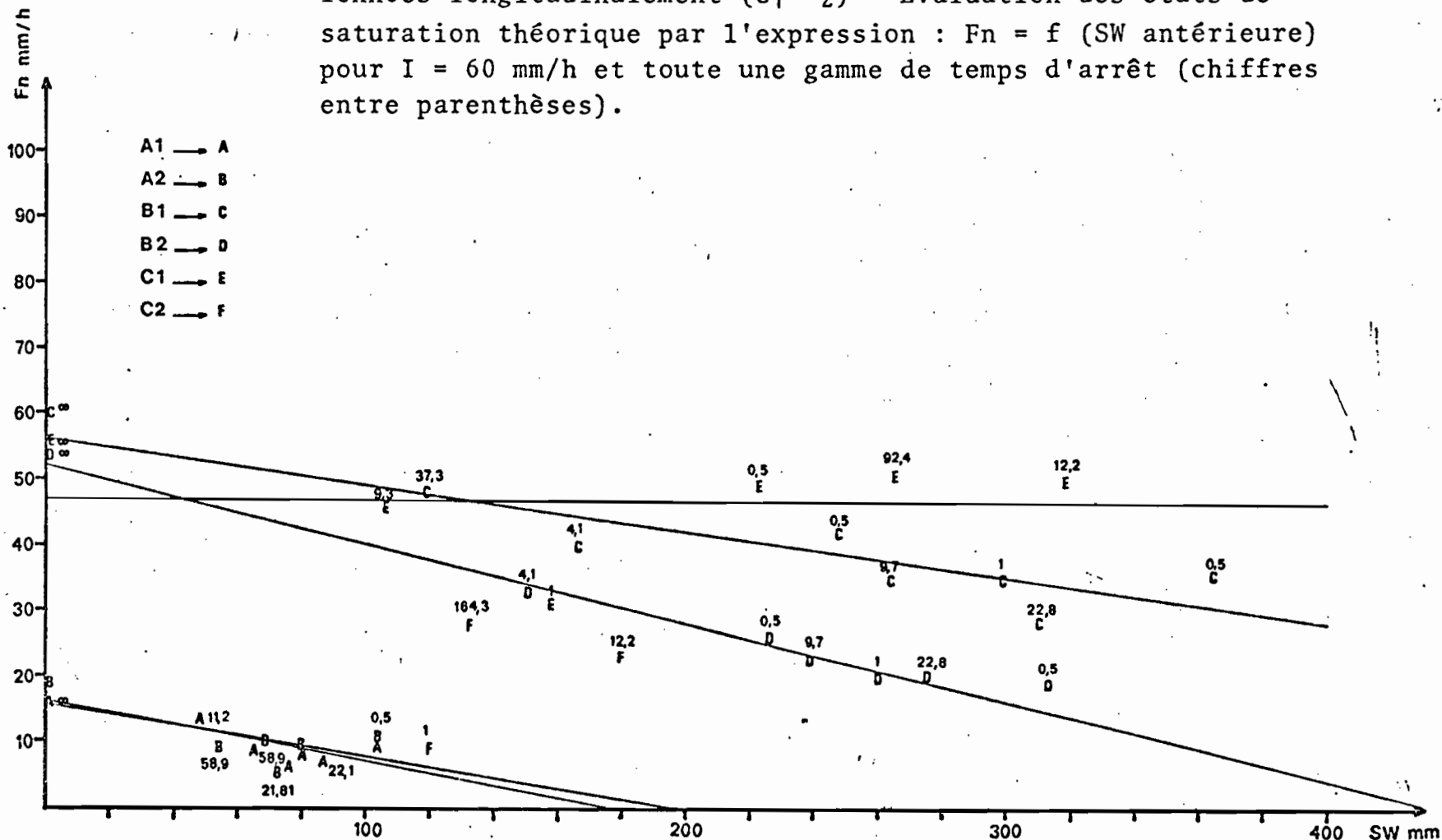
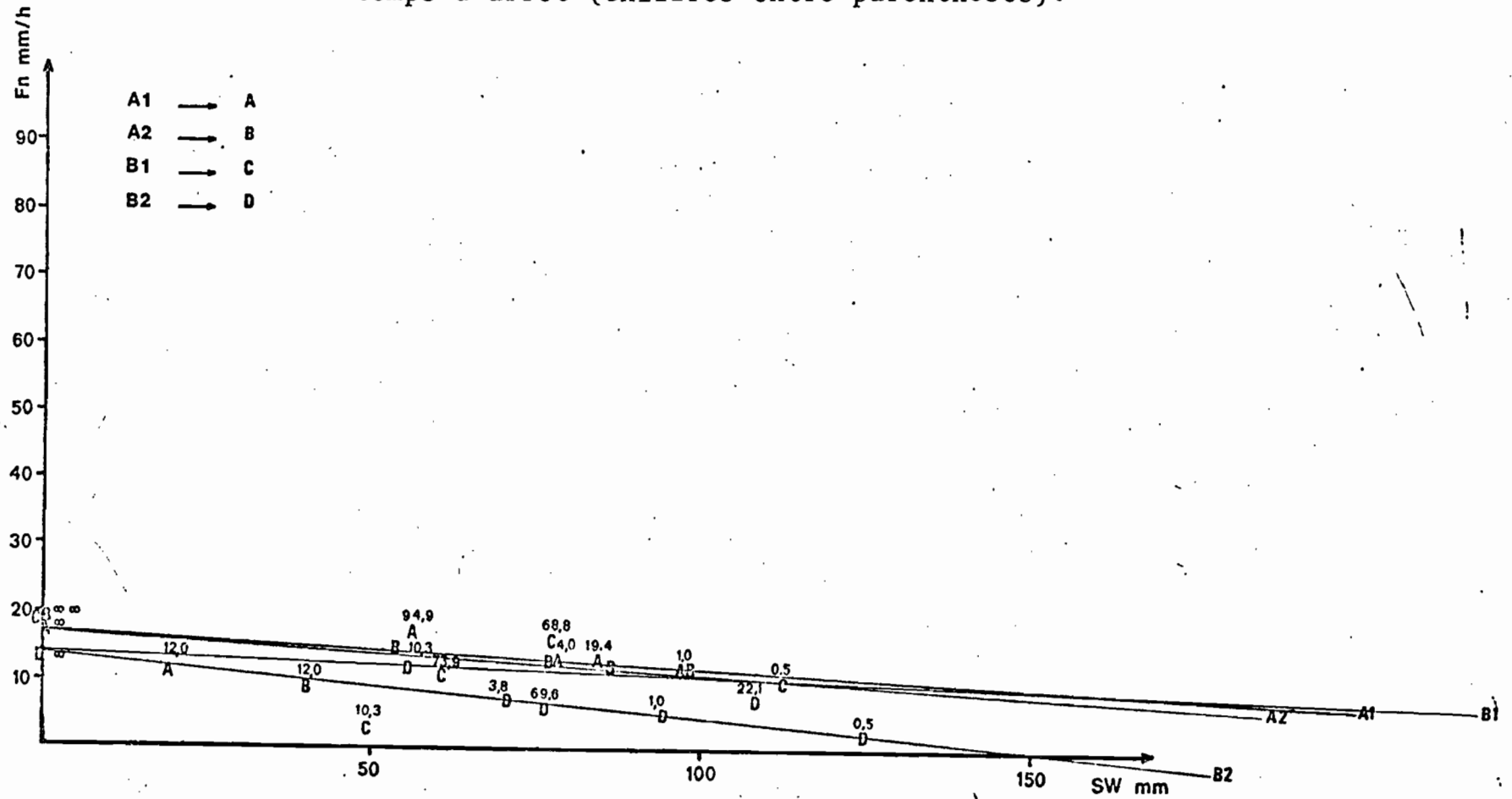


Figure n° 11 : NIGER. BV de GALMI - site II - couples A-B parcelles de référence (nature A₂, labour A₁) billonnées isohypse (B₁ - 2) - Evaluation des états de saturation théorique par l'expression : $F_n = f(SW \text{ antérieure})$ pour $I = 60 \text{ mm/h}$ et toute une gamme de temps d'arrêt (chiffres entre parenthèses).



- site O : pente d'environ 1,5 %, alternance de dépôts alluviaux sableux (interstratifications de sables fins et grossiers), voile de sables éoliens en surface recouvrant une pellicule fine plus argileuse discontinue.
- site P : pente d'environ 9 %, en surface : épendage de galets roulés libres ou enchassés dans une pellicule presque continue recouvrant un horizon limono-argilo-graveleux, entre 20 et 100 cm la texture est fine et la compacité est importante, on découvre les grès altérés mais très durs au delà de 100 cm.
- site Q et R : cf. études préliminaires (2-3).

3.2.2. Protocoles expérimentaux retenus

Le protocole retenu tient compte de certaines contraintes et des réalités climatiques locales :

- contraintes scientifiques et administratives : il fallait obtenir le maximum de données dans un laps de temps relativement court imposé par les délais d'autorisation d'importation du matériel, donc réaliser un régime de précipitation rapide.
- contraintes matérielles : il a fallu limiter au maximum les déplacements de l'appareil monté à cause du vent.
- réalités climatiques locales : la pluie quotidienne de fréquence décennale atteint 50,2 mm et la pluie interannuelle : 150 mm (14), ces valeurs correspondent probablement aux pluies cinquantennaires sur la cuvette d'Agadez (ces données sont encore rares).

En tenant compte de ces différentes indications, le protocole suivant a été établi :

- chaque parcelle reçoit trois journées de pluies qui sont :

- . pluie α avec un temps d'arrêt ∞

I1 = 60 mm/h, tu = 15'

I2 = 120 mm/h, tu = 10'

I3 = 60 mm/h, tu = 10'

I4 = 30 mm/h, tu = 104

en pluie continue

- . pluie β

I1 = 60 mm/h, ta = 15H, tu = 15'

I2 = 120 mm/h, ta = 1,0H, tu = 10'

I3 = 60 mm/h, ta = 0,5H, tu = 10'

I4 = 30 mm/h, ta = 0,25H, tu = 10'

- pluie γ (NB - dans la cuvette on procède à une répétition de la pluie type β) sur les regs :

I₁ = 120 mm/h, t_a = 22H, t_u = 10'
 I₂ = 60 mm/h, t_a = 1,0H, t_u = 15'
 I₃ = 30 mm/h, t_a = 0,5H, t_u = 10'
 I₄ = 60 mm/h, t_a = 0,25, t_u = 10'

- pour les 2 parcelles de chaque site, les protocoles sont rigoureusement identiques.

3.2.3. Analyse sommaire des premiers résultats

Les premiers dépouillements figurent sur le tableau n° III ci-dessous ainsi que sur les graphiques des figures n° 12 à 16.

3.2.3.1. Pluie d'imbibition

* Sur parcelles naturelles

On discerne l'intervention de deux facteurs :

- rôle des pellicules superficielles sur la limitation des hauteurs des pluies d'imbibition, ces pellicules uniformisent les comportements d'où des résultats peu étalés (2,7 à 7,9 mm),
- rôle des caractéristiques physiques des matériaux sous-jacents (texture, porosité) c'est ainsi que l'on a 2,7 mm sur argile (R₁) et 7,9 mm sur sable (O₁).

* Sur parcelles labourées

Plusieurs constatations qui rappellent, en partie, celles faites pour le Sud Niger :

- convergence des résultats pour des matériaux très différents mettant en évidence le rôle du traitement et de la porosité ainsi ouverte,
- la diminution sensible sur la parcelle Q₂ (sec 17,0 mm) s'explique par le fait que le labour butte sur un matériau très cohérent près de la surface,
- d'une façon générale les gains d'infiltration lors de la première pluie ne sont pas négligeables (de 13,7 à 22,3 mm) en regard de la pluviométrie moyenne interannuelle; ces gains restent cependant à un niveau moyen pour des raisons déjà évoquées dans le sud Niger : instabilité structurale des mottes auxquelles il convient d'ajouter ici l'"effet substrat".

TABLEAU III : NIGER. CUVETTE d'AGADECZ -
Premières données concernant le ruissellement.

Parcelles naturelles		Pi (mm)		I1	(mm/h)		Kru %	Kre %	SW (mm)
		sec	sat.		sec	sat.			
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
cuvette :									
"sable"	O1	7.9	1.1	47=	19=	49.2	57.0	78.5	
"argile"	R1	2.7	0.4	8=	3=	78.9	84.0	35.0	
reg :									
"grès"	P1	4.2	0.8	22=	2=	77.4	85.3	37.5	
"granite"	Q1	3.3	0.5	15=	13=	73.2	78.2	43.0	
Parcelles labourées :									
cuvette :									
"sable"	O2	25.1	1.7	74↑	13↑	36.1	49.4	98.0	
"argile"	R2	25.0	0.5	75↑	7↑	55.1	71.5	69.0	
reg :									
"grès"	P2	23.1	2.5	73↑	7↑	30.1	53.1	110.0	
"granite"	Q2	17.0	2.2	15=	7=	54.7	82.1	74.2	

Légende : cf. également paragraphe 3.1.3.

- (1) Hauteur de pluie d'imbibition pour un sol préalablement sec
- (2) Hauteur de pluie d'imbibition pour un sol proche de la saturation (temps d'arrêt de 0.50 et 0.25 h)
- (3) Intensité limite de ruissellement pour un sol initialement sec.
↑ : F_n = fonction croissante de I
- (4) Intensité limite de ruissellement pour un sol proche de la saturation.
= : F_n = fonction constante
- (5) Coefficient de ruissellement "utile" = $S L_r / S P_u$
- (6) Coefficient de ruissellement "efficace" = $S L_r / S P_e$
- (7) Hauteur de la lame infiltrée (mm) pour une pluie utile de 150 mm

3.2.3.2. Intensités limites provoquant le ruissellement

* Sur parcelles naturelles

Les écarts de perméabilité sur sols secs sont plus importants dans les sites expérimentaux de la cuvette, du fait notamment des faibles intensités limites sur sols argileux ($R_1 = 8 \text{ mm/h}$).

La comparaison I1 sec/I1 saturé permet d'estimer les rôles respectifs de la pellicule de surface (Q_1) et du degré de saturation en eau des sols (O_1, P_1, R_1). Dans le cas de Q_1 l'intensité limite de ruissellement semble déterminée par la nature de la pellicule superficielle indépendamment des lames infiltrées précédentes qui interviennent, par contre, sur la perméabilité des autres sols.

* Sur parcelles labourées

Les trois sols labourés O_2, P_2 et R_2 ont un comportement voisin : perméabilité élevée à l'état sec, faible à l'état de saturation. Deux causes se conjuguent pour O_2 et R_2 : reformation de la pellicule et saturation des horizons profonds. Pour P_2 seule la saturation intervient. Pour Q_2 , le comportement est différent : après la pluie d'imbibition, l'intensité limite de ruissellement est déterminée par la conductibilité hydraulique très faible de l'horizon sous-jacent (mesures Pioger).

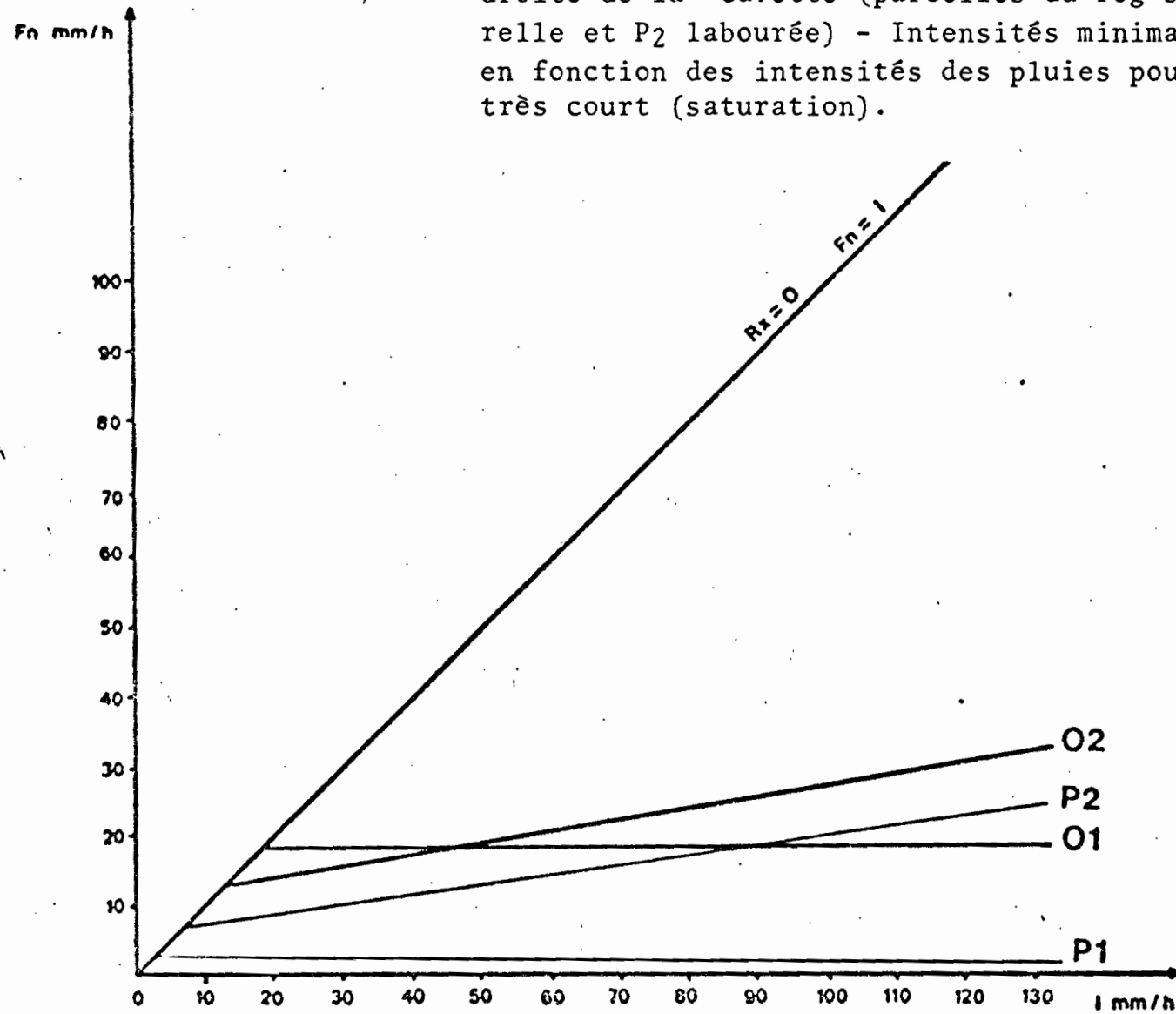
A "saturation", (état d'humectation maximale atteinte lors des essais qui est donc différent d'une saturation réelle), l'augmentation de perméabilité due au labour est minime dans le cas de R_2 et P_2 . Pour les deux autres parcelles, le phénomène est même inverse : pour O_2 , il s'agit probablement de l'influence de la lame infiltrée précédente supérieure pour O_2 , par rapport à O_1 . Pour Q_2 , la conductibilité hydraulique de l'horizon sous-jacent diminue plus rapidement que celle de la pellicule de Q_1 , presque constante.

3.2.3.3. Intensité d'infiltration

Cette intensité est soit une fonction croissante de l'intensité de pluie, soit constante. Dans le premier cas, on considère que la porosité de la parcelle est hétérogène, (11, 12, 13) il est possible également de dire que l'intensité de pluie correspondant à une porosité fonctionnelle maximale n'est pas atteinte. Dans le second cas, on considère que la porosité de la parcelle est homogène ; il est également possible de penser que l'intensité d'infiltration reste constante parce que les intensités de pluies utilisées sont supérieures à celles correspondant à la porosité fonctionnelle maximale. Ces points déjà évoqués retrouvent leur justification ici (cf. figure n° 14) : paragraphe 3.1.3.3.

Le comportement de chaque parcelle vis-à-vis de cette variable reste identique aux états secs et saturés.

Figure n° 14 : NIGER. CUVETTE d'AGADEZ - sites de la cuvette (parcelles amont : O₁ naturelle et O₂ labourée) - sites du versant rive droite de la cuvette (parcelles du reg sur grès : P₁ naturelle et P₂ labourée) - Intensités minimales d'infiltration en fonction des intensités des pluies pour un temps d'arrêt très court (saturation).



Trois parcelles labourées (O₂, R₂ et P₂) voient leurs intensités d'infiltration augmenter en fonction des intensités de pluies. L'intensité de "porosité fonctionnelle maximale" n'est pas atteinte même à 120 mm/h. Il y a donc maintien d'une porosité dans l'horizon labouré, supérieure à celle du témoin naturel. Cela se vérifie d'ailleurs aisément par l'ouverture des profils à la fin des pluies.

Toutes les autres parcelles atteignent les seuils pour lesquels les intensités d'infiltration restent constantes. Ces seuils sont les intensités limites de ruissellement dépendant des états de saturation.

La parcelle Q₂ réagit comme une parcelle non labourée. Ce comportement s'explique par la très faible perméabilité de l'horizon sous-jacent à la partie cultivée. Une fois cette surface atteinte par le front (pluie d'imbibition), les mesures portent sur les réactions de cet horizon et non celles de l'horizon labouré.

3.2.3.4. Coefficient de ruissellement

Les coefficients de ruissellements utiles sont dans l'ensemble très élevés pour les parcelles naturelles y compris pour le sol de faible pente (1,7 %) et sableux sur une grande profondeur (près de 50 % de ruissellement).

Les gains dûs au labour sont surtout importants pour les sols peu perméables. Ils sont considérables pour P₂, le labour en supprimant la pellicule superficielle a permis l'exploitation de la porosité importante de l'horizon sous-jacent à la partie labourée (réactions différentes de celles de R₂ et de Q₂ pour lesquelles cet horizon est très peu perméable .

La comparaison Kru/Kre permet d'apprécier l'importance des pluies d'imbibition sur l'infiltration (faible en sols naturels, plus marquée sur les parcelles labourées. Le très fort coefficient de ruissellement efficace de Q₂ liée à des pluies d'imbibition importantes, ne peut pas s'expliquer par la formation d'une pellicule superficielle imperméable (les pluies d'imbibitions seraient alors peu élevées, cf. parcelles naturelles), mais par la réaction de l'horizon sous-jacent (l'horizon cultivé s'engorge et déborde" lorsque le front atteint cette surface). Dans ce cas particulier il a été vérifié qu'il n'existait pas de lessivage oblique.

3.2.3.5. Lames infiltrées (ou ruisselées)

Les données fournies en colonne n° 7 du tableau n° III permettent une comparaison rapide et concrète entre les comportements des différents sites et, dans un site, entre deux parcelles.

Voyons d'abord les sites de la cuvette dont les lames ruisselées sont représentées sur le graphique de la figure n° 12.

SLr
(mm)

Figure n° 12 : NIGER. CUVETTE d'AGADEV - site de la cuvette - parcelles amont
cuvette, sableuses (O₁ naturelle et O₂ labourée) - parcelle
aval cuvette, argileuse (R₁ naturelle et R₂ labourée) - Lames
ruisselées cumulées en fonction des hauteurs de pluies cumulées.

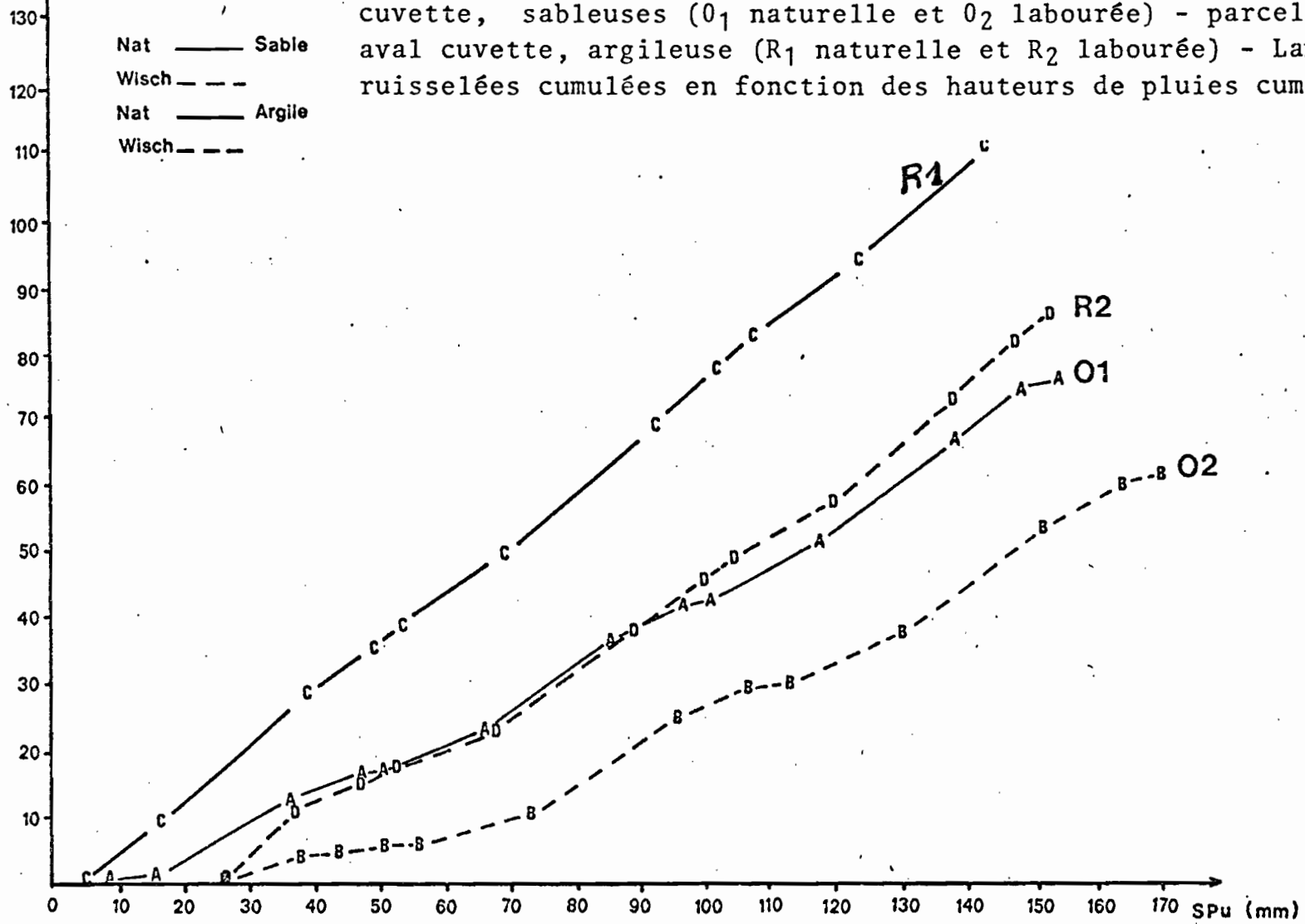
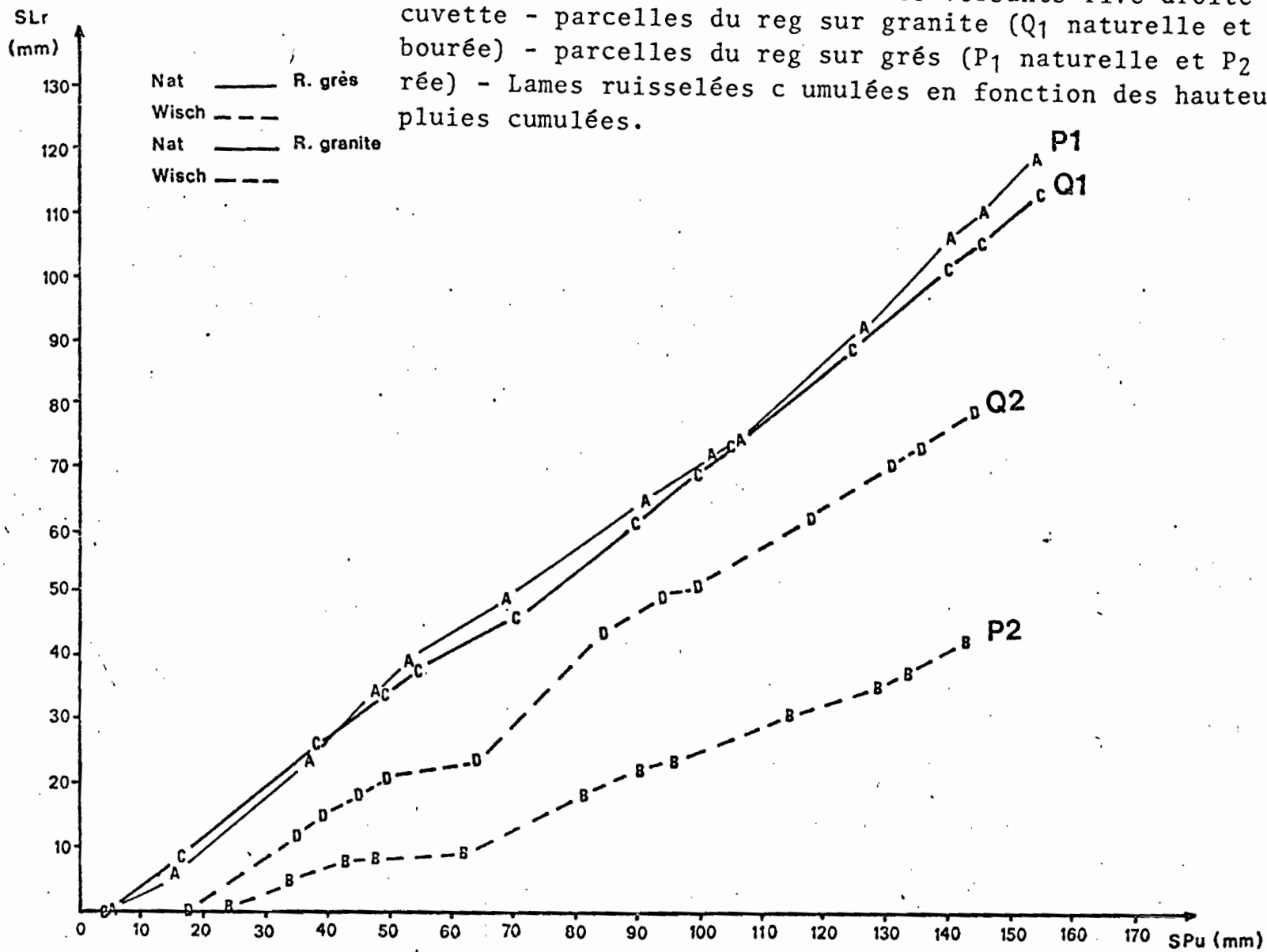


Figure n° 13 : NIGER. CUVETTE d'AGADEVZ - site des versants rive droite de la cuvette - parcelles du reg sur granite (Q₁ naturelle et Q₂ labourée) - parcelles du reg sur grès (P₁ naturelle et P₂ labourée) - Lames ruisselées cumulées en fonction des hauteurs des pluies cumulées.



Site O : le gain d'infiltration entraîné par le labour est relativement faible, du fait de la perméabilité assez élevée du témoin naturel, et de la formation rapide de la pellicule (cf. courbes parallèles 01/02 après 60 mm de pluie).

Site R : comme pour le site précédent le gain d'infiltration est essentiellement assurée au cours des pluies d'imbibition des premières averses avant la reconstitution de la pellicule.

Les différences de comportement sont plus accusées au niveau des sites des versants rive droite sur regs, soit gréseux (P), soit granitique (Q) (cf. figure n° 13).

Site P : contrairement aux parcelles précédentes, la pellicule continue et peu imperméable ne se reconstitue pas sous les galets. Il y a ainsi maintien d'une perméabilité importante, accentuée par la présence d'un horizon graveleux très poreux sous le volume labouré.

Site Q : le bénéfice apporté par le labour n'est assuré que par les pluies d'imbibition, l'arrivée du front d'infiltration sur l'horizon très peu perméable entraînant par la suite des ruissellements plus intenses que sur témoin naturel.

3.2.4. Conclusion partielle

Les protocoles sévères (150 mm en trois jours) ont probablement entraîné une surévaluation des coefficients de ruissellement par rapport à ceux qui seraient enregistrés en conditions naturelles. L'existence de pellicules sur les sols de la cuvette limite cependant l'évaporation et en partie l'influence des temps d'arrêt. Cette surestimation ne doit donc pas être considérable pour les sols alluviaux. Pour les sites de regs, où l'évaporation est plus rapide, les données concernant la première pluie (état sec) devraient permettre d'approcher convenablement les phénomènes naturels.

La plupart des interprétations reposent sur l'existence générale pour les quatre sols naturels, d'une pellicule limitant considérablement la perméabilité. Cette pellicule se reconstitue facilement pour les sols alluviaux labourés du fait de la faible stabilité des éléments structuraux (sables, ou argiles facilement dispersées). Pour les sols caillouteux labourés, une telle pellicule ne se reforme pas rapidement ; la perméabilité dépend alors essentiellement de la conductibilité hydraulique des horizons du profil.

3.3. ACTIONS COMPLEMENTAIRES SUR GALMI ET AGADEZ

Signalons, pour mémoire, d'autres actions qui complètent les précédentes pour améliorer l'acquisition de données et dont les dépouillements ne sont pas encore suffisamment avancés.

- mesures humidimétriques, systématiques sur les sites de Galmi (gravimétrie) et d'Agadez (chocs thermiques),
- caractérisation détaillée des états structuraux et couverts végétaux par la méthode des "points quadrats", adaptée aux grandes parcelles (Galmi) ou classique (Agadez),
- prélèvements d'échantillons pour études micromorphologiques des organisations superficielles et de leurs modifications au cours des averses (Galmi et Agadez),
- bien évidemment prélèvements de sol et terres érodées pour déterminations physiques et chimiques.

Nous insisterons un peu plus sur une étude de la levée du mil effectuée par l'un d'entre nous sur Galmi.

Cette étude vient en complément de ce qui fut réalisé sur Oursi. Pour approcher les conditions "sols" de Haute-Volta et faciliter les comparaisons, l'infiltromètre à aspersion fut utilisé à Galmi sur les sols sableux du site III.

Pour y dégager les influences des facteurs : humectation, tassement, déjà étudié en Haute-Volta, 4 parcelles ont été semées en poquet dans les conditions suivantes :

- parcelles N° 1 : pluie de 60 mm à intensité variable, jour suivant : semis suivi d'une pluie de 60 mm à 120 mm/h,
- parcelles N° 2 : pluie de 60 mm à intensité variable, jour suivant : semis suivi d'une pluie de 60 mm à 30 mm/h,
- parcelles N° 3 : deux pluies de 60 mm à intensité variable, puis semis,
- parcelles N° 4 : deux pluies de 60 mm à intensité variable, puis semis sans tassement.

TABLEAU IV : Levée du mil à Galmi - essais poquets

PARCELLES	N°1	N°2	N°3	N°4
Nombre de poquets productifs	2/10	4/10	0/10	3/10
Nombre de pieds moyen par poquet productif	4	10	0	3

Les taux de levée étant très faibles (mauvaise germination due à des semences de très médiocre qualité), il est difficile de tirer des conclusions très nettes de ces essais. Il est possible cependant d'effectuer certaines remarques : les différences enregistrées ne sont pas imputables aux doses d'irrigation (ni aux quantités infiltrées, de l'ordre de 30 mm pour les 4 parcelles). Les obstacles mécaniques à la levée paraissent apporter une part d'explication : la parcelle la plus productive est celle pour laquelle, le contact terre/graine a été bien assurée (tassement, pluie postérieure au semis) et les pellicules de comblement les moins développées (30 mm/h). Notons que les poquets, tassés en condition très humides et ne recevant aucune pluie ultérieure, sont restés totalement improductifs. Mais il est évident qu'il faut rester prudent quant aux conclusions.

- Bibliographie sommaire -

- (1) COLLINET (J.), VALENTIN (C.), ASSELINE (J.), CHEVALLIER (P.), SICOT (M.) - janvier 1980 - Etude LAT/03 : Ruissellement, infiltration et érosion en zones sahéliennes et subdésertiques. Rapport de terrain sur la première opération "Mare d'Oursi". DGRST (Paris) - ORSTOM (Adiopodoumé), 14 p., 5 tabl., 15 fig., 10 photographies.
- (2) COLLINET (J.), ASSELINE (J.) - 1979 - Compte-rendu de deux missions de reconnaissance préliminaire effectuées en Haute-Volta et au Niger - Programmes de mise en oeuvre de différentes techniques de simulation de pluies en Haute-Volta et au Niger. DGRST-ORSTOM, 28 p., 8 fig., 3 tabl., 6 photographies, bibliogr.
- (3) PIAS (J.) - 1978 - Rapport provisoire sur l'implantation d'emplacements de profils hydriques (Cuvette d'Agades) ORSTOM. Paris, 6 p., 16 graph., 1 fig.
- (4) GAVAUD (M.) - 1977 - Les grands traits de la pédogenèse au Niger méridional. Coll. "Travaux et Documents" de l'ORSTOM, 102 p., 4 fig.
- (5) BOCQUIER (G.), GAVAUD (M.) - 1964 - Etude pédologique de l'Ader Doutchi. Rapport général. ORSTOM. Centre de Dakar-Hann. 104 p., 1 carte à 1/1.000.000.
- (6) BOCQUIER (G.), GAVAUD (M.) - 1964 - Etude pédologique de Keïta, Adouna, Taboye. ORSTOM, Dakar Hann, 84 p.
- (7) BOCQUIER (G.), GAVAUD (M.), BOULET (R.) - 1966 - Etude pédologique du Niger Central. Rapport général. ORSTOM. Dakar Hann, 211 p., 1 carte à 1/500.000.
- (8) WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.) - 1958 - Rainfall energy and its relationship to soil loss Trans. Amer. Geophys. Union. n° 39, pp. 285-291.
- (9) WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.) - 1960 - An universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning. 7th Intern. Congr. Soil.
- (10) BRUNET MORET (Y.) - 1963 - Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale. République du Niger. ORSTOM. CIEH. 15 p., 16 graph.
- (11) COLLINET (J.), LAFFORGUE (A.) - 1979 - Mesures du ruissellement et de l'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sols de Haute-Volta. ORSTOM, Adiopodoumé, 125 p., 122 fig.

- (12) LAFFORGUE (A.) - 1977 - Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. Application à une exploitation méthodique des données obtenues sous pluies simulées. Cahier ORSTOM, sér. Hydrol., Vol XIV, n° 4.
- (13) COLLINET (J.), VALENTIN (C.) - août 1979 - Analyse de différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives - Applications agronomiques. ORSTOM Adiopodoumé, 40 p., 26 fig., 16 tabl., multigr.
- (14) LE GOULVEN (P.), DELFIEU (G.) - Le Téloua à Azel - Campagne 75 et 76 - ORSTOM, Mission du Niger, 23 p., multigr.

Adiopodoumé, juillet 1980