

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique (MESRES)

INSTITUT DE LA RECHERCHE
AGRONOMIQUE (IRA)
CAMEROUN

INSTITUT DE RECHERCHE
GEOLOGIQUES ET MINIERES (IRGM)
CAMEROUN

Ministère de la Recherche et de
l'Enseignement Supérieur (MRES)

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE POUR
LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION
ORSTOM - FRANCE

CENTRE L. EMBERGER
C.N.R.S. Montpellier
FRANCE

Commission des Communautés Européennes
CONTRAT T.S.D. A.216 CAM (5)

UTILISATION ET CONSERVATION DES RESSOURCES EN SOL ET EN EAU (NORD CAMEROUN)

Rapport final

IRA	IRGM	ORSTOM	Centre L. Emberger
P. DONFACK	R. ABEGA	P. CARRE	C. FLORET
H. MOUKOURI-KUOH	A. AYANGMA	R. PONTANIER	
F. MAINAM	A. DJOKO-PAWA	R. SAYOL	
L. SEYNI-BOUKAR	E. NAAH	J. SEGHIERI	
	J.C. NTONGA	B. THEBE	
	D. SIGHOMNOU		

Mars 1988

Handwritten signature and initials

S O M M A I R E

	Pages
AVANT-PROPOS.....	3
AVERTISSEMENT AU LECTEUR.....	5
1 - LES OBJECTIFS DE LA RECHERCHE	7
2 - LES FACTEURS REGIONAUX DU MILIEU.....	11
2.1 Les conditions climatiques	11
2.2 Les sols et l'utilisation des terres.....	16
2.3 La végétation.....	18
3 - LES SYSTEMES ECOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT DE MOUDA.....	21
3.1 Introduction.....	21
3.2 Principes de la méthode d'étude	22
3.2.1 Définition du système écologique	
3.2.2 La cartographie	
3.3 Description des systèmes écologiques.....	24
3.3.1 Le secteur des collines et versants... de raccordement	24
3.3.2 Le secteur des glaciers couverts à pente douce.....	28
3.3.3 Le secteur du plateau ferrugineux.....	33
3.3.4 Le secteur ripicole.....	35
3.4 Aspects dynamiques.....	36
4 - CYCLE DE VIE DES PRINCIPALES ESPECES VEGETALES PARTAGE DE LA RESSOURCE HYDRIQUE.....	41
4.1 Introduction.....	41
4.2 Matériel et méthodes.....	43
4.3 Résultats.....	46
4.4 Discussion.....	46
4.4.1 Identification des différents types de comportement.....	56
4.4.1.1 Les ligneux	
4.4.1.2 Les herbacées	
4.4.1.3 Discussions sur les comporte- ments	
4.4.2 Variabilité entre les sites.....	69
4.4.2.1 Propriétés des différents subs- trats	
4.4.2.2 Variabilité intersite des rythmes	
4.4.3 Variabilité interannuelle.....	81
4.4.3.1 Les ligneux	
4.4.3.2 Les herbacées	
4.5 Conclusions.....	84

	Pages
5 - RUISSELLEMENT ET EROSION	89
5.1 Introduction	89
5.2 Matériel et méthodes	91
5.2.1 A l'échelle des bassins versants.....	91
5.2.2 A l'échelle du m ² . La simulation de pluie.....	96
5.3 Etude du ruissellement	100
5.3.1 Les microparcelles 1 m ²	100
5.3.1.1 Modélisation du ruissellement sous pluie simulée	
5.3.1.2 Reconstitution des lames ruisse- lées observées sous pluies natu- relles - Transfert d'échelle temporaire	
5.3.2 Résultats sur le Bassin Versant n° 2 (S = 3000 m ²).....	104
5.3.2.1 Coefficient de ruissellement	
5.3.2.2 Relation entre la lame ruisselée et la hauteur de l'averse	
5.3.2.3 Crues-types et exceptionnelles	
5.3.2.4 Bilan hydrologique	
5.3.3 Le Bassin Versant n° 1 (S = 18,1km ²)... 5.3.3.1 Etude du coefficient de ruissel- lement	110
5.3.3.2 Etude de la relation pluie-lame ruisselée	
5.3.3.3 Crues-types et exceptionnelles	
5.3.3.4 Approche du bilan hydrologique	
5.3.4 Du m ² au km ² - Transfert d'échelle.... 5.3.4.1 Représentativité des sites de simulation de pluie	118
5.3.4.2 Méthode du transfert d'échelle Application au BV n°2 (S=3000m ²)	
5.4 Etude de l'érosion	125
5.4.1 Résultats à l'échelle de la parcelle...	125
5.4.2 Résultats à l'échelle du champ (BV _m)...	129
5.4.3 Résultats à l'échelle du BV n° 1 (18,1 km ²).....	133
5.4.4 Conclusion.....	138
5.5 Exemple de recherche des facteurs condi- tionnels du ruissellement et de l'érosion en conditions naturelles et sur micro- parcelles (1 m²)	138
5.5.1 Matériel et méthode.....	141
5.5.2 Résultats et discussions.....	143
5.6 Conclusions	145

	Pages
6 - CONSERVATION DES SOLS ET MAITRISE DE L'EAU - REFLEXIONS SUR L'AMENAGEMENT.....	147
6.1 Aménagements traditionnels.....	147
6.1.1 Introduction.....	147
6.1.2 Les terrasses de Mouhour.....	149
6.1.2.1 Le protocole et le dispositif	
6.1.2.2 Les résultats et discussions	
6.1.3 Les casiers à diguettes de Doyang.....	159
6.2 Réflexions sur l'aménagement.....	162
7 - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	165
 REFERENCES.....	 169
 ANNEXES	
. Annexes 3.....	177
. Annexes 5.....	199
. Annexes 6.....	217
 RAPPORT ABREGE.....	 227
 Liste des publications des membres du PROJET.....	 232

Le présent rapport concerne la synthèse de la partie scientifique et technique des lignes de recherches menées par l'Institut de la Recherche Agronomique du Cameroun (IRA), associé à d'autres institutions nationales et françaises dans le cadre du projet "Utilisation et conservation des ressources en sol et en eau dans le Nord Cameroun" pour lequel l'IRA avait reçu une aide financière de la CEE, dans le cadre de l'appel STD1, sous la forme du contrat à frais partagés TSD/A/216/CAM passé entre la CCE et l'IRA.

L'ensemble des participants de ce projet tient à remercier la CEE pour cette contribution qui a permis de renforcer, voire même initier un certain nombre d'actions de recherche qui n'auraient pu être menées efficacement sans cette aide.



DEUX ASPECTS DES SAVANES ARBUSTIVES
DU BASSIN VERSANT DE MOUDA



AVANT-PROPOS

En 1982 l'IRA, l'IRGM et l'ORSTOM initiaient une opération de recherche intitulée "Erosion et bilan hydrique des sols dans le Nord-Cameroun". Programmée sur 5 ans cette opération essentiellement à composantes hydrologie/pédologie fut présentée en 1983 à la CEE pour un renforcement : proposition n° 31065, intitulée "Utilisation et conservation des ressources en sol et eau dans le Nord-Cameroun", dans le cadre du programme "R et D" -Science et Technique au Service du Développement- (1982-1986), sous programme "Agriculture Tropicale".

L'accord de participation de la CEE aboutit le 10 octobre 1985 à la signature du contrat TSD/A/216 CAM (S) entre la CEE et l'IRA. Ce contrat tout en renforçant les actions déjà initiées par les organismes ci-dessus permettait d'envisager des lignes de recherche dans le domaine de la phytoécologie. C'est ainsi que dès janvier 1986 intervenait le Centre d'Etudes Phyto-Ecologique Louis Emberger du CNRS de Montpellier dans la conception et le suivi des programmes, et s'installait à Maroua un phytoécologue. En décembre 1986, l'équipe se renforçait d'un deuxième phytoécologue.

D'une manière générale, et malgré certaines difficultés et défaillances parmi lesquelles il convient de signaler le recrutement tardif d'un phytoécologue camerounais, et le report du séminaire de fin de projet, les objectifs définis ont été atteints, grâce à la bonne volonté et le dévouement des membres du projet ainsi qu'à l'aide apportée par les responsables du MESRES et de l'ORSTOM.

On trouvera ci-dessous la liste des membres du projet par organisme et par discipline.

*CNS/IRA

MOUKOURI-KUOH H., pédologue adjoint au chef du CNS, responsable projet, Yaoundé

SEYNI-BOUKAR L., pédologue responsable de l'antenne CNS de Maroua et des opérations du projet à Maroua

DONFACK P., phytoécologue, Maroua

MAINAM F., pédologue, Maroua

TCHEUFFA P., pédologue, Maroua.

***CRH/IRGM**

NAAH E., hydrologue
N'TONGA J.C., hydrologue, Yaoundé, mission longue durée
SIGHOBNOU D., Hydrologue, Yaoundé, mission longue durée.

***ORSTOM**

CARRE P., hydrologue, Yaoundé, consultant
PONTANIER R., pédologue, Montpellier puis Tunis, consultant
SAYOL R., pédologue, Yaoundé, missions d'appui
SEGHIERI J., phytoécologue, Maroua
THEBE B., hydrologue, Yaoundé puis Montpellier,
missions de longue durée et appui.,

***CEPE / CNRS**

FLORET Ch., phytoécologue, Montpellier, consultant

Par ailleurs, un certain nombre de chercheurs ont collaboré à ce projet tant sur le plan scientifique que matériel ; sont remerciés vivement :

BOLI Z., pédologue, chef du CRA, Maroua
EYOG-MATIG O., forestier, responsable de l'antenne CRF/IRA
de Maroua
JOHNSON J., agronome, USAID/CRA, Maroua
PELTIER R., forestier, CTFT/CRF, Maroua.

AVERTISSEMENT AU LECTEUR

Dans ce rapport, après un rappel des objectifs, sont donnés dans une première partie les principaux facteurs régionaux du milieu naturel. La deuxième partie est consacrée à la caractérisation et à la cartographie des systèmes écologiques de la région de MOUDA. Cette partie est surtout destinée à mettre au point une méthode d'évaluation régionale des ressources, à mettre en évidence les aspects dynamiques du milieu, et permet de globaliser les résultats obtenus en station ; on la présente dès le début de ce rapport, car elle a été le point de convergence initiale des différentes disciplines. La troisième partie essentiellement axée sur les problèmes de fonctionnement des espèces ligneuses et herbacées fait largement appel aussi à la connaissance du régime hydrique des sols (partage de la ressource eau), et à l'organisation des couvertures pédologiques (problèmes de l'enracinement). La quatrième partie, "Etude du ruissellement et de l'érosion", peut être considérée comme la ligne principale du projet ; elle fait intervenir à différentes échelles de temps et d'espace les trois disciplines ; elle a mobilisé une part importante des moyens : études du ruissellement et de l'érosion en station, campagne de simulation de pluie. Il est évident qu'on ne peut ici présenter tous les résultats ; certains sont déjà publiés (thèse, rapports, communications, etc.) d'autres en voie de synthèse (thèse, articles, etc.). Par ailleurs, certaines actions doivent se poursuivre sur ce thème. La cinquième partie, peut être insuffisamment abordée dans ce projet, mais qu'on doit intensifier dans le futur est la présentation de cas d'aménagement traditionnel ; celle-ci permet d'aborder une réflexion très incomplète, sur l'aménagement et la gestion des ressources. Pour éviter d'alourdir le texte, de nombreux résultats sont présentés en annexes ; y est adjointe une liste des publications réalisées ou en cours de réalisation dans le cadre de ce projet.

1 - LES OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

On observe depuis quelques décennies, dans la zone aride du Cameroun une augmentation de nuisances liées à l'aridité et une détérioration du milieu naturel ; les principales causes en sont la croissance démographique, un désir des populations rurales d'accroître leurs revenus par tous les moyens, et des modes souvent inadaptés de gestion de l'espace rural. Ces phénomènes se traduisent par (a) la dégradation anthropique du couvert végétal (déforestation, surpâturage), (b) une diminution des productions végétales (surtout spontanées), (c) la détérioration des sols (baisse de la fertilité et érosion, (d) l'augmentation du ruissellement, et la diminution de l'eau utilisable par la végétation (e) une diminution, enfin, de l'efficacité des systèmes biologiques vis-à-vis de l'eau.

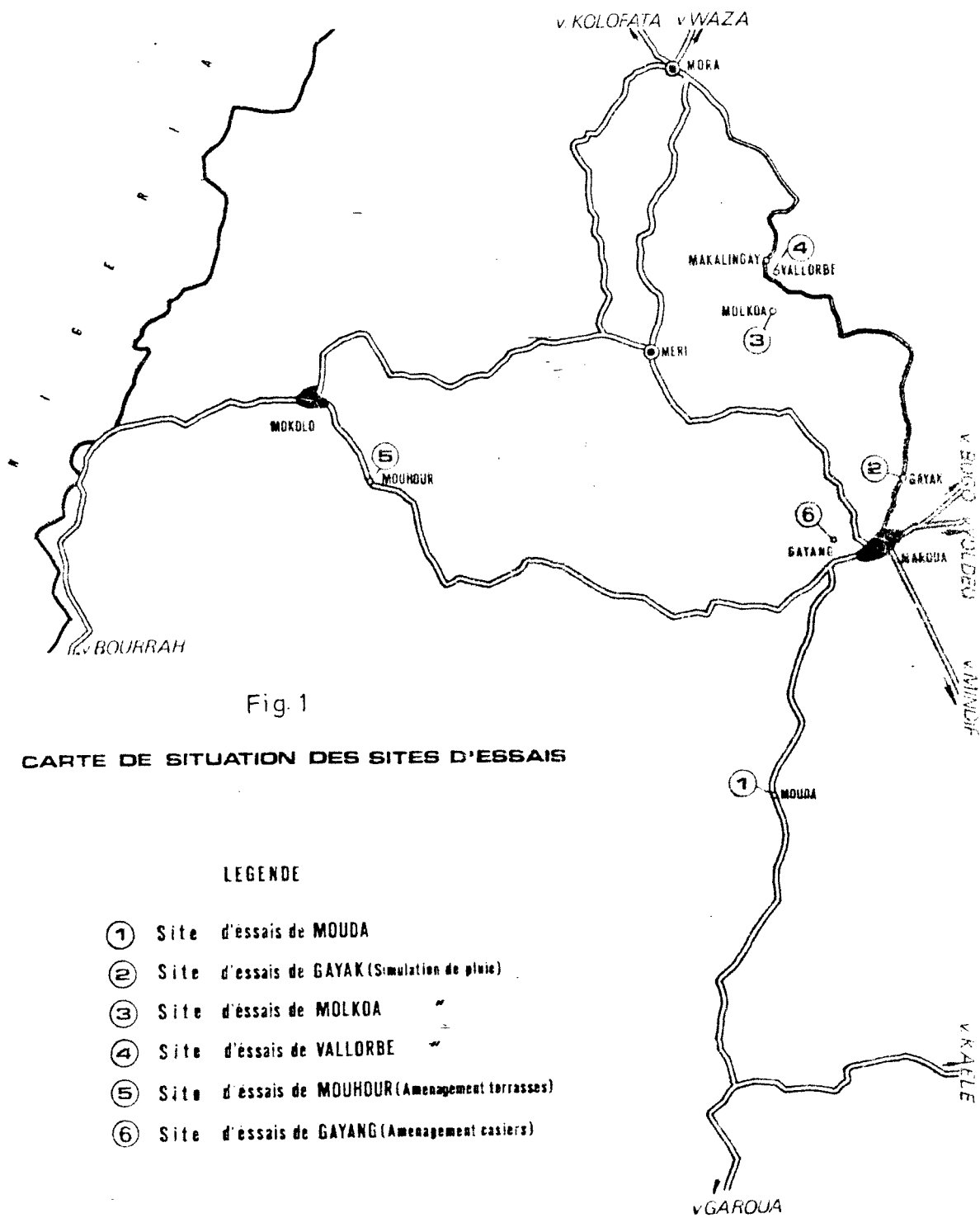
Les zones concernées par le projet sont principalement la plaine du Diamare et ses bordures où la pluviosité moyenne annuelle est de 650 à 750 mm, et un secteur des monts Mandara bordant à l'Ouest cette plaine où la pluviosité y est supérieure (800 à 1000 mm) ; l'ensemble est situé dans la province de l'extrême Nord du Cameroun.

Dans cette situation de déséquilibres biologiques régionaux liés à la surexploitation du milieu naturel, et en vue d'une meilleure utilisation des ressources en eau, en sol et en végétation, le projet de recherche vise à renforcer et initier un certain nombre d'actions concernant la dynamique de l'eau à l'interface Sol-Plante-Atmosphère et à préciser les processus de dégradation et éventuellement de régénération des sols et de la végétation naturelle. C'est ainsi que sont menées des études concernant :

- la caractérisation et la cartographie des systèmes écologiques d'une zone test (BV MOUDA), permettant de préciser la distribution spatiale et l'utilisation des ressources d'un territoire, la dynamique actuelle du milieu face à certaines perturbations, et de globaliser les observations stationnelles;

- le cycle de vie des espèces végétales spontanées en relation avec le partage de la ressource hydrique du sol sur les principaux types de milieu de la région de Mouda : savane arborée sur sol ferrugineux cuirassé, savane à épineux sur vertisols, savane très dégradée des zones "hardé" ;

- la caractérisation et la quantification à différentes échelles du ruissellement et des pertes en sol des principaux systèmes écologiques de la région ; on insiste ici sur les facteurs conditionnels de ces phénomènes, les problèmes de transfert d'échelle et la sensibilité des milieux à l'érosion hydrique.



- l'impact de certains aménagements traditionnels sur la dynamique du milieu en vue d'une réflexion sur les actions d'aménagement à entreprendre pour une meilleure gestion de l'espace rural.

Enfin, le projet devait former une équipe nationale rodée aux méthodes de l'inventaire global des ressources, apte à conduire des recherches pluridisciplinaires sur le fonctionnement et l'évolution des milieux.

Sans prétendre avoir pris en compte tous les composants de l'écosystème, d'une façon générale on a toujours essayé, pour chaque ligne de recherche, d'avoir une approche globale qui a fait intervenir les spécialistes des disciplines suivantes : hydrologie, pédologie et phytoécologie. Cette méthode a permis de recueillir un maximum d'informations et de données permettant ainsi d'affiner les interprétations et les modèles. Enfin, si la majeure partie des actions a été focalisée sur la région de MOUDA, le projet n'a pas hésité à intervenir de façon plus légère dans d'autres zones de la région soit pour valider certaines interprétations (dynamique et fonctionnement), soit tout simplement prendre en compte des études de fonctionnement d'autres systèmes écologiques intéressants mais absents de la zone de MOUDA (figure 1).

Les échelles auxquelles ont été effectuées les différents axes de recherches sont très variées. En ce qui concerne le ruissellement et l'érosion, elles vont de la microparcelle ($1m^2$) au bassin versant ($x km^2$) en passant par le mini-bassin versant ($x 10^3 m^2$ à $x ha$) ; certaines études ont été faites en mode diachrone : étude des bilans d'eau et d'érosion et des régimes hydriques des sols sur plusieurs années, d'autres en mode synchrone (simulation de pluie sur microparcelle).

Si les inventaires cartographiques (sol, végétation, occupation des terres) ont été réalisés à petites échelles, la caractérisation des systèmes écologiques, le fonctionnement et leur dynamique ont été réalisés à d'autres échelles d'espace et de temps.

Concernant la végétation, la phénologie de pratiquement toutes les espèces de 3 stations (sur vertisols, "hardés" et ferrugineux) a été suivie durant deux années, sous pluies naturelles, et avec irrigation supplémentaire pour les herbacées afin de mettre en relation cycle de vie des espèces et évolution des conditions climatiques et hydriques des sols. Par ailleurs l'évolution démographique de la communauté des herbacées en fonction du régime pluviométrique (avec expérimentation complémentaire par irrigation) a été également suivie durant les deux années sur les mêmes stations.

2 - LES FACTEURS REGIONAUX DU MILIEU

La région de l'extrême Nord est située entre les 10° et 11° parallèles. Sur la bordure Ouest, s'étirent du Nord au Sud les Monts MANDARA, sur 150 km de long. Faisant frontière entre le CAMEROUN et le NIGERIA, la partie camerounaise de la chaîne s'étale sur 50 km de large environ. Le point culminant, le Mont OUPAY, au nord de la ville de MOKOLO, culmine à 1500 m, mais la plupart des massifs se situent entre 1000 et 1200 m d'altitude. Ce sont donc de moyennes ou petites montagnes. Dans cet ensemble de montagnes et de plateaux granitiques avec intrusions de basalte et trachyte naissent la plupart des "mayos" (cours d'eau) qui drainent la région.

Les zones de piedmont sont constituées de deux types de reliefs :

- les pédiments développés sur des roches dures, relativement rares, correspondant à des gneiss granitisés ou à des granites,

- les glacis, constitués par l'accumulation et l'épandage uniforme de matériaux grossiers d'origine arénique entraînés par un ruissellement diffus à partir du pied de la montagne. Plus en aval, le comblement se poursuit par des dépôts d'alluvions charriés par les mayos. Au sud des Monts MANDARA, les glacis de piedmont sont très importants, et s'étalent sur plusieurs kilomètres, atteignant des épaisseurs de 25 à 40 mètres (HUMBEL - BARBERY, 1974).

Les plaines sont comprises entre les zones de piedmont des Monts MANDARA et le cordon dunaire qui délimite les rivages d'un ancien Lac TCHAD, comme la plaine du DIAMARE où se situe notre terrain expérimental. C'est une plaine d'accumulation de dépôts récents recouvrant une ancienne pénéplaine façonnée dans des roches métamorphiques et éruptives. Les inselbergs émergeant de l'ennoyage sédimentaire sont peu nombreux, le plus remarquable est la "dent de MINDIF" qui culmine à 707 mètres, l'altitude moyenne de la région est de 420 mètres. La surface de la plaine du DIAMARE est sub-horizontale avec seulement une pente de 0,2 %. Les dépôts proviennent des Monts MANDARA, acheminés par les rivières qui en descendent : mayo TSANAGA et mayo MBOULA principalement.

2.1 Conditions climatiques

Les stations climatologiques de longue durée les plus proches des sites d'études sont celles de MAROUA-Agriculture, et de l'aéroport de MAROUA-SALAK ; cette dernière est distante de 10 km de MOUDA.

	Température Salak °C			Précipitation mm		Evaporation mm			Déficit hydrique (P - ETP) mm	Humid relative moyen de l'air %
	MAX	MIN	MOY.	Maroua	Salak	Piche	Bac Colorado	ETP PENMAN		
J	32,7	16,9	24,9	0	0	466	233	147	-147	27,5
F	35,3	18,6	27,0	0	0	541	252	160	-160	17,5
M	38,5	22,3	30,8	7	3	628	316	194	-192	22,5
A	39,2	24,9	31,9	16	22	510	351	190	-174	34,5
M	37,6	24,3	31,0	59	63	394	285	190	-131	52,0
J	34,0	22,2	28,2	105	131	213	195	145	-40	65,0
J	31,6	21,7	26,6	207	229	135	161	130	+77	74,0
A	30,0	21,2	25,6	255	233	89	124	110	+145	79,0
S	31,5	20,9	26,2	145	161	92	132	125	+20	75,0
O	34,6	20,5	27,7	27	33	230	186	156	-129	59,0
N	35,1	19,0	27,1	0	0	393	249	153	-153	36,0
D	33,6	17,1	25,3	0	0	436	254	132	-132	30,5
An.			27,7	816	875	4117	2738	1832	-1016	48,0

Tableau 1 : Caractéristiques climatiques principales de la région de MAROUA (d'après SUCHEL, 1972; GUIB, 1972, METEO, in PONTANIER et al., 1974))

2.1.1 Caractéristiques climatiques principales

Le climat général de la région est de type soudanien à tendance sèche, ou de type soudano-sahélien (SUCHEL, 1972) selon certains auteurs, avec une saison sèche qui dure sept mois environ dont cinq ont une pluviométrie nulle. Les mois de juillet et août concentrent 57 % des pluies de la saison.

Le tableau n° 1 présente les caractéristiques climatiques principales de la région. La saison sèche est marquée par des valeurs extrêmement faibles de l'hygrométrie. L'harmattan, vent desséchant, fait descendre l'humidité relative moyenne de l'air à moins de 30 %, voire 10 % de décembre à avril, les minima absolus étant généralement atteints en mars. C'est précisément la saison où les températures diurnes peuvent dépasser 40° (maximum absolu de MAROUA-SALAK : 45,6° le 11 avril 1941), et l'évaporation potentielle 15 mm/jour. En conclusion, le climat de la région présente des traits d'aridité très marqués. Dans la carte de répartition mondiale des régions arides proposées par l'UNESCO en 1977, la zone concernée est dans l'aire semi-aride à sécheresse d'hiver dominante ($0,20 < P/ETP$ Penman $< 0,5$; P/ETP Penman = 0,44 à MAROUA), à hiver chaud (moyenne du mois le plus froid comprise entre 20 et 30° C ; moyenne de janvier = 24,9°) à été très chaud (moyenne du mois le plus chaud supérieure à 30° C ; moyenne d'avril = 32,3° C) et à sept mois de saison sèche (moins de 30 mm de pluie par mois).

2.1.2 La pluviométrie

Les précipitations :

La pluviométrie moyenne annuelle est de 877 mm à la station de MAROUA-SALAK (18 années d'observations) et de 805 mm à MAROUA-Agro (40 années).

Nous devons à OLIVRY (1984) l'étude des répartitions statistiques des pluies, dont les résultats pour les stations qui nous intéressent sont rassemblés dans les tableaux 2, 3 et 4.

En fait, les hauteurs journalières ne nous donnent qu'un aspect approximatif des caractéristiques des averses. Aussi avons-nous recherché des informations pluviographiques, et c'est à KAISER (non publié) que nous devons les enseignements en ce qui concerne les intensités des averses, mais sur une série de quatre années seulement. Il ressort d'un premier dépouillement à pas de temps variable, portant sur les intensités moyennes des averses supérieures à 3 mm que :

- les intensités moyennes supérieures à 100 mm/h sont exceptionnelles (180 mm/h durant 5 mn).
- les averses d'une intensité moyenne supérieure ou égale à 50 mm/h contribuent en hauteur à près de 20 % des hauteurs annuelles précipitées corrigées ($h \geq 3$ mm),

Stations	Nb an	P max	P méd	P min	ET	Années Humides		Année moy.	IC 95%	Années Sèches	
						T = 20 ans	T = 10 ans			T = 20 ans	T = 10 ans
MAROUA-AGRO	40	1120	778	600	142	1055	1003	805	45	613	555
MAROUA-SALAK	18	1119	850	617	123	1085	1040	877	61	678	719

Tableau 2 : Répartition statistique des pluies annuelles d'après J.C. OLIVRY (1984)

Station	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
MAROUA-AGRO												
Moyenne	0	0	1	15	59	105	193	260	145	27	0	0
Ec.Type	0	0	3	23	41	48	58	68	66	30	0	0
MAROUA-SALAK												
Moyenne	0	0	3,7	20,6	62,9	134,3	215,9	241,3	156,9	30,1	0,35	0
Ec. Type	0	0	7,4	15,8	34,0	59,6	70,7	69,4	52,4	28,9	1,4	0

Tableau 3 : Répartition statistique des pluies mensuelles d'après J.C. OLIVRY (1984)

	Averses journalières (en mm) de période de retour						
	1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
MAROUA-AGRO	65	76	91	105	117	130	146

Tableau 4 : Ajustement d'une loi de PEARSON III aux hauteurs d'averses tombées en 24 heures

Intensités mm-h ⁻¹	Hauteurs	1980	1981	1982	1983	Moyenne
TOTALITE	h (mm)	898	638	729	479	686
	%	100	100	100	100	100
10 ≤ I	h (mm)	750	543	562	333	541
	%	83	85	77	69	79
20 ≤ I	h (mm)	668	467	439	276	477
	%	74	73	60	58	70
30 ≤ I	h (mm)	519	345	283	178	331
	%	58	54	39	37	48
40 ≤ I	h (mm)	299	220	170	76	191
	%	33	35	23	16	28
50 ≤ I	h (mm)	228	139	117	52	134
	%	25	22	16	11	20
60 ≤ I	h (mm)	157	101	85	30	93
	%	17	16	12	6	14
70 ≤ I	h (mm)	43	93	63	7	51
	%	5	15	9	2	8
80 ≤ I	h (mm)	24	87	9	7	32
	%	3	14	1	2	5
90 ≤ I	h (mm)	24	0	9	0	8
	%	3	0	1	0	1
I ≤ 100	h (mm)	0	0	9	0	2
	%	0	0	1	0	0,3

Tableau 5 Contribution en hauteur et en pourcentage des différentes classes d'intensité à la pluviométrie annuelle. Pluies supérieures à 3 mm (Djarengol/Maroua d'après Kaiser, 1983 In Pontanier et al 1984)

- les averses à intensité moyenne supérieure ou égale à 30 mm/h représentent près de 50 % des totaux annuels corrigés (cf. tableau 5).

BRUNET-MORET (1966) donne pour la pluie annuelle (60 mm) une intensité moyenne en 30 mn de 60 mm/h ; et pour l'averse de récurrence décennale (105 mm) une intensité moyenne en 30 mn de 88 mm/h, ce qui suppose un pic d'intensité beaucoup plus fort pour un pas de temps plus petit. Une intensité de 180 mm/h durant 5 mn nous paraît très plausible.

Variabilité de la pluie

Au cours des 41 dernières années, au poste de MARQUA-Agro, on a enregistré des écarts interannuels importants. En 1967 et 1983, les hauteurs précipitées ont été respectivement de 594 et 600 mm, alors qu'en 1952, 1962 et 1980, elles ont dépassé 1000 mm (1084 mm en 1952). Le rapport des valeurs extrêmes est de 1.82.

Cette variabilité est encore plus marquée si l'on prend en considération d'autres paramètres tels que : dates de fin et de début de saison des pluies, probabilités de retour en date et durée, de périodes sèches au sein de la saison pluvieuse.

Ainsi, après analyse des pluies journalières du poste MARQUA-Agro de 1948 à 1983 (CIEH, 1978 et Météorologie Nationale ; 20 années disponibles), on note que :

- si l'on considère que la fin de la saison des pluies est marquée par la dernière pluie supérieure ou égale à 15 mm, une année sur cinq elle a lieu avant le 15 septembre ; une année sur deux avant le 30 septembre et une année sur cinq après le 15 octobre.

- concernant les périodes sèches, au cours desquelles il tombe moins de 10 mm, il y a en moyenne par année, une à deux (moyenne 1,34) périodes sèches de dix jours au moins, une période sèche de 15 jours au moins tous les trois ans, et ceci entre le 1er juin et le 30 septembre.

2.2 Les sols et l'utilisation des terres

Les sols de la province de l'extrême Nord ont été étudiés à l'occasion de prospections pédologiques à l'échelle 1/100 000 (MARTIN 1961, SEGALEN 1962, GAVAUD et al. 1980, SIEFFERMAN 1963, MARTIN 1963, SEGALEN et VALLERIE 1963), ou de synthèses (BRABANT et GAVAUD 1985). Ils présentent une grande diversité ; la classe des sols à sesquioxides est considérée comme le faciès climacique régional bien que ceux-ci n'occupent pas les surfaces les plus importantes (HUMBEL 1972). Dans la région concernée par notre étude on observe principalement trois domaines :

(i) Sur les matériaux acides quartzeux ou quartzofeldspathiques (granites, certains gneiss, dunes sableuses, alluvions et colluvions sableuses) :

. des sols en "voie d'évolution", aréniques sur les versants et sommets, où la morphogenèse domine ; certains sont franchement lithiques ; les terres y sont utilisées localement en terrasses ; l'essence dominante est le *Boswellia dalzielii* ; l'exploitation du bois de chauffage y est intense, et les groupements très dégradés.

.des sols peu évolués d'apport de texture légère plus ou moins ferruginisés ou hydromorphes suivant leur degré d'évolution et leur position, sur les dunes et les lits majeurs des cours d'eau ; convenant très bien aux cultures de saison des pluies (sorgho, arachide, coton) ils sont assez bien cultivés, malgré leur faible niveau trophique ; *Guiera senegalensis* a un bon développement sur les dunes ;

.des sols ferrugineux, sablo à argilo-sableux, fréquemment à charge grossière, plus ou moins lessivés suivant leur position, pouvant présenter des cuirasses ou carapaces anciennes (climat plus humide) ; ils sont localisés sur les positions hautes de la pénéplaine, le coton et les cultures précoces de saison des pluies s'y comportent bien, sauf en année à pluviosité déficitaire ; non cultivés ils portent s'il n'y a pas surpâturage, ni surexploitation des ligneux, une belle savane arborée ; la charge en éléments grossiers, un drainage excessif et une grande sensibilité à l'érosion hydrique sont les principales contraintes à leur mise en valeur.

(ii) Sur les matériaux basiques, mais aussi riches en fer (micaschistes, certains gneiss, série vulcano-sédimentaire de Maroua) :

.des sols fersiallitiques (ou rouges tropicaux), à texture équilibrée en position de drainage correct ; suivant les pentes et l'érosion, ils peuvent être franchement lithiques ; dans les positions les plus favorables (en bas de pente, et en absence de charge grossière), ces sols conviennent de façon remarquable aux cultures de saisons des pluies ; ce sont les terres cotonnières par excellence ; leur niveau trophique et leur régime hydrique sont supérieurs à ceux des ferrugineux lessivés ; par contre, ils sont souvent sur des pentes qui les rendent sensibles à l'érosion, et leur extension est faible.

.des vertisols lithomorphes en milieu confiné réducteur ; ces sols au contact des sols fersiallitiques sont de remarquables terres pour les cultures tardives de saison des pluies.

.des sols hydromorphes dans les bas-fonds.

(iii) Sur des matériaux argileux à dominance montmorillonitique des grandes plaines d'inondation et des glacis d'épandage, se développent des vertisols topomorphes plus ou moins sodiques ou hydromorphes (karal) ainsi que des sols

hydromorphes ou halomorphes ; l'apparition des carbonates sous formes de nodules ou de pseudomycellium est une manifestation fréquente et quasi permanente dans notre zone d'étude ; c'est dans ce dernier domaine pédologique que nous rencontrons l'essentiel des "hardés" (terres stériles en langue fufuldé de la province). Les premiers de ces sols sont les terres de prédilection de la culture du Mouskouari (sorgho repiqué) spéculatif de contre-saison qui est abondamment pratiquée dans tout le Diamaré et la zone des Yaérés ; sur les zones non cultivées, et pas trop inondées de ce type de milieu, les pasteurs pratiquent un élevage extensif sur une savane souvent très dégradée à épineux (*Acacia seyal*).

Enfin, nous rappelons que la majorité des surfaces de ces trois domaines est soumise à l'heure actuelle à une forte morphogénèse du fait de l'érosion intense qui sévit sur les versants, glacis et la pénélaine. Toutes les formes existent en nappe, en rigoles, en griffes, en ravines, si bien que les sols sont constamment rajeunis soit par l'érosion (les plus sensibles étant ceux des zones ferrugineuses ainsi que ceux des zones "hardés" des plaines et de la pénélaine en bordure des cours d'eau). Il semble que les phénomènes de la dégradation des sols (liés à un climat agressif, à une pression anthropique de plus en plus forte et à une réduction générale du couvert végétal naturel) soient plus importants que ceux de la régénération, et qu'à long terme les surfaces décapées prendront de plus en plus d'importance sur celles alluvionnées.

2.3 La végétation

La végétation de la région de Maroua présente à la fois des éléments soudaniens et sahéliens (ligneux et herbacés). En fait, si l'on se réfère à la pluviométrie, la région de Maroua appartiendrait au domaine soudanien ou soudano-sahélien. Cependant les influences anthropiques, agricoles et pastorales ont contribué, relativement récemment, à la propagation d'espèces végétales caractéristiques du Sahel, bien que quelques éléments floristiques soudaniens demeurent notablement présents.

En tenant compte de ces considérations, LETOUZEY (1985) distingue deux grands ensembles dans le secteur sahélo-soudanien :

- les prairies périodiquement inondées (non étudiées ici),
- les steppes à épineux ;

A ces deux ensembles s'ajoute la zone d'imbrication des deux précédents. Notre domaine d'étude, correspond aux steppes à épineux, bien que la physionomie générale soit plutôt celle d'une savane. Nous empruntons à LETOUZEY (1985) la description générale de la végétation de cette région : "Dans les cultures, on remarque des arbres domestiqués isolés : *Acacia albida*, *Adansonia digitata*, *Balanites aegyptiaca*, *Bombax costatum*, *Celtis integrifolia*, *Daniella oliveri*, *Ficus platyphylla*, *Ficus sycomorus* ssp. *gnaphalocarpa*, *Khaya senegalensis*, *Kigelia*

africana, *Parkia africana*, *Tamarindus indica*, *Ziziphus spinachristi*,.... Plusieurs de ces arbres appartiennent au domaine soudanien".

L'importance de la population agricole crée un paysage de village matérialisé par des habitats groupés ou isolés, des cultures et des jachères récentes ou anciennes. Dans les terrains voisins, le plus souvent pâturés, les éléments sahéliens, épineux en particulier, font largement leur apparition et peuplent ainsi les sols grisâtres sablo-argileux en surface et argileux en profondeur ("hardés"). Parmi ces épineux (éléments sahéliens) souvent groupés en fourrés autour d'un arbre relictuel représentant un élément soudanien, on peut citer : *Acacia ataxacantha*, *Acacia hockii*, *Acacia seyal*, *Acacia sieberiana*, *Albizia chevalieri*, *Balanites aegyptiaca*, *Bauhinia rufescens*, *Boscia augustifolia*, *Boscia salicifolia*, *Boscia senegalensis*, *Cadaba farinosa*, *Capparis tomentosa*, *Capparis decidua*, *Capparis fascicularis*, *Capparis sepiaria* var *fisheri*, *Capparis tomentosa*, *Cassia occidentalis*, *Cassia tora*, *Combretum acculeatum*, *Dichrostachys cinerea*, *Grewia flavescens*, *Maerua angolensis*, *Maerua crassifolia*, *Maerua oblongifolia*, *Maerua pseudopetalosa*, *Piliostigma reticulata*, *Strychnos spinosa*, *Ximena americana*, *Ziziphus abyssinica*, *Ziziphus mauritiana*...

Entre les fourrés, le tapis herbacé, souvent absent par tache particulièrement autour des termitières en cheminées côniques d'*Odontotorme magdalenae*, est constitué essentiellement de *Schoenelfedia gracilis*, *Loudetia togoensis*, *Schizachyrium exile*, et de diverses espèces d'*Aristida*. Très souvent, ce tapis herbacé est très pâturé et laisse apparaître des espèces graminéennes de dégradation elles-mêmes très broutées : *Brachiaria stigmatisata*, *Chloris lamproparia*, *Chloris prieurii*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Digitaria longiflora*, *Eragrostis ciliaris*, *Eragrostis manauensis*, *Panicum laetum*, *Setaria barbata*, *Sporobolus microprotus*...".

Cette description correspond bien en général à la végétation du bassin versant de Mouda. Nous en préciserons les subdivisions à l'occasion de la description des systèmes écologiques de ce bassin (cf. chapitre 3).

3 - LES SYSTEMES ECOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT DE MOUDA

3.1 Introduction

Le bassin versant de Mouda est situé au Sud de Maroua, à 30 km sur la route de Garoua (cf. figure 1). Il a une superficie de 18,1 km² et équivaut à un rectangle dont la longueur est de 6.60 km contre 2.74 km de largeur (THEBE et al., 1985). Il présente l'intérêt, par sa végétation et les types de sols qui l'occupent d'être représentatif de la plaine du Diamaré, sauf en ce qui concerne les zones alluviales.

Le travail présenté ici est une caractérisation des systèmes écologiques de ce bassin. Son intérêt est évident. En effet, l'augmentation de la population dans la région a entraîné une surexploitation du milieu. Il est donc urgent de faire un inventaire des ressources naturelles, des différents modes d'utilisation du milieu et de l'état de sa dégradation. Cet inventaire fait apparaître l'hétérogénéité des systèmes, qui présentent de fortes variations sur des surfaces relativement réduites.

L'étude de la réponse du milieu aux perturbations reçues, s'intéresse aussi aux inter-relations dynamiques qui peuvent exister entre les différents systèmes (dégradation, régénération).

L'étude à l'interface eau-sol-végétation réalisée par ailleurs permet de mieux comprendre les réponses du milieu aux contraintes qui lui sont imposées.

En résumé sont étudiés :

- les différents facteurs agissant sur la végétation du bassin versant de Mouda,
- la répartition des différents types de végétation du bassin,
- l'état de dégradation des systèmes écologiques recensés,
- les différents types d'exploitation des sols,
- les possibilités d'évolution des systèmes écologiques.

3.2 Principe de la méthode d'étude

3.2.1 Définition du système écologique

La pyramide des niveaux de perception écologique comprend plusieurs niveaux :

- la zone écologique,
- la région écologique,
- le secteur écologique,
- la station écologique ou système écologique.

A chaque niveau de perception correspond, entre autres, des unités de végétation concrètes, c'est-à-dire des unités de végétation identifiables grâce à leur structure et par leurs constituants majeurs.

La notion de zone écologique met en relief le caractère de zonalité qui s'attache à la distribution des êtres vivants (végétaux) lorsqu'on va des pôles vers l'équateur, du bord des mers vers l'intérieur des terres ou du piedmont des grands massifs vers le sommet des montagnes. Notre domaine d'étude fait partie de la zone tropicale.

Le climat et l'utilisation du sol permettent de définir la région écologique. Dans un "pays" peu influencé par l'homme, le climat (macroclimat) peut être considéré comme le critère essentiel pour la caractérisation des régions écologiques. Par contre, dans un pays aussi diversement anthropisé que la région du Diamaré, ce qui frappe tout d'abord c'est la distribution relative, très changeante, des grandes unités de l'utilisation du sol.

Une région écologique est divisée en secteurs écologiques. Au niveau du secteur écologique, la végétation apparaît sous la forme de principales formations végétales qui peuvent être classées par exemple en fonction de leurs filiations dans les séries au sens de GAUSSEN (1954) ou séquences au sens de GODRON (1972) de végétation. Les principales formations constituent une séquence de végétation. Ici, l'accent est mis sur la structure de la végétation : répartition spatiale des volumes et des masses entre ligneux hauts, ligneux bas et herbacées. Les variables écologiques prépondérantes sont les positions topographiques, certains caractères des climats locaux et surtout les types lithologiques et les formations superficielles qui sont les substrats de la végétation (LONG, 1974). C'est en fonction de ces variables écologiques que nous avons divisé le bassin versant de Mouda en 4 secteurs écologiques.

Le secteur écologique est constitué à son tour de "systèmes écologiques". Le système écologique se définit comme une surface où les conditions écologiques sont homogènes et où la végétation est uniforme. C'est au niveau du système écologique que les actions de l'homme et des autres êtres vivants sur le milieu sont le mieux perçues. En effet, l'analyse écologique à ce niveau introduit les variables biotiques. Le bassin versant de Mouda a été divisé en 15 systèmes écologiques.

En conclusion, nous dirons qu'au secteur écologique correspond la séquence de végétation, associée à une unité morpho-pédologique. Dans cette séquence, les aspects dynamiques sont pris en compte (dégradation, régénération, érosion) pour la délimitation des systèmes. Un système écologique est caractérisé par sa végétation, par son sol, par l'utilisation que l'homme en fait, par sa sensibilité aux pratiques culturales et aux agents de l'érosion et, en outre, par ses relations dynamiques avec les autres systèmes écologiques. Le système écologique est donc aussi caractérisé pour ses aptitudes à évoluer.

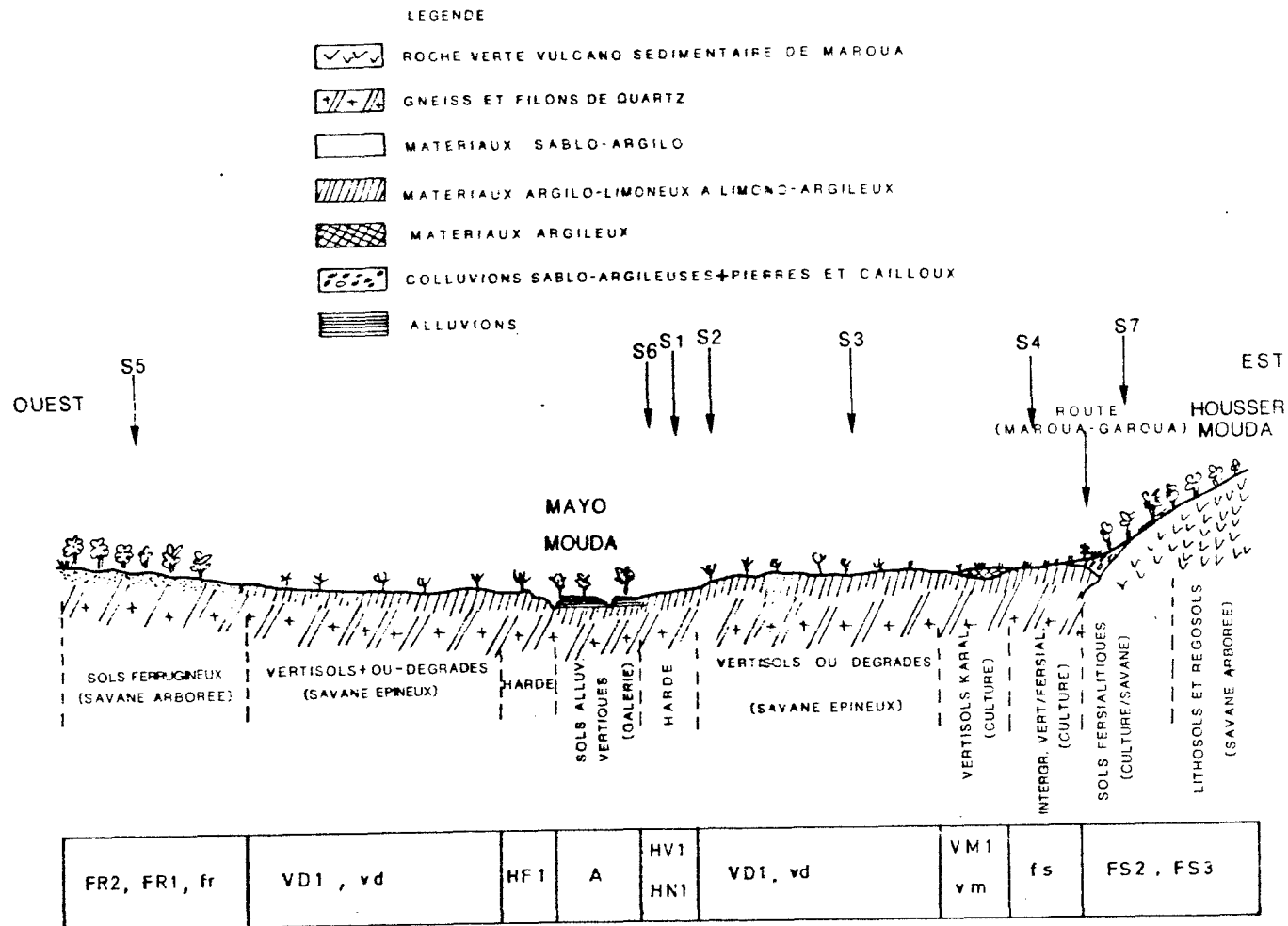


Fig.2- REPARTITION SCHEMATIQUE DES SYSTEMES ECOLOGIQUES ET LOCALISATION DES SITES DE SIMULATION DE PLUIE A MOUDA

3.2.2 La cartographie

La carte a été levée à l'échelle de 1/21.250 à partir de photographies aériennes à la même échelle (1962) ; le zonage s'effectue sur la base de la délimitation des unités morphopédologiques ; les subdivisions de ce premier zonage sont apportées par l'utilisation des terres et par la végétation.

Chaque unité type a fait l'objet d'un certain nombre de relevés sol-végétation (60 relevés effectués au total dans le bassin versant de Mouda). Dans l'annexe 3, figurent des formulaires de relevés pour les milieux les plus répandus (collines et versants de raccordement, vertisols modaux, "hardés", ferrugineux).

3.3 Description des systèmes écologiques

La coupe montrant la répartition schématique des systèmes écologiques (figure 2) et le grand tableau récapitulatif des systèmes écologiques (tableau 6) illustrent cette description.

Le bassin versant de Mouda comprend 15 systèmes écologiques, représentés par des sigles. Chaque sigle est constitué d'une ou de deux lettres très souvent suivies d'un chiffre qui représente l'indice de dégradation. Ainsi, pour le système le plus dégradé de chaque secteur, nous avons affecté l'indice le plus faible (1). De même, le meilleur système de chaque secteur est affecté de l'indice le plus élevé (3). Cette description qui utilise les indices, porte sur les domaines non cultivés qui se distinguent des zones en culture ou en jachère récente, par le fait que les lettres du sigle sont des majuscules. Les sigles des systèmes en exploitation culturale sont constitués des lettres minuscules, non suivies d'indice.

Exemple : 1/FS3 = savane arborée en très bon état sur collines et versants de raccordement.
2/fr = cultures et jachères récentes sur les sols ferrugineux.

Ces 15 systèmes sont regroupés en 4 secteurs écologiques, le nombre de systèmes par secteur n'obéit à aucune règle. A l'intérieur des secteurs écologiques, chaque système écologique représente un état de dégradation par rapport au groupement initial.

3.3.1 Le secteur des collines des roches vulcano-sédimentaires et des versants de raccordement

Ont été étudiés 3 systèmes sur ce secteur. La savane arborée à *Boswellia dalzielii*, en très bon état (par rapport aux autres systèmes), sur les collines à roche verte. Cette savane (FS3) présente deux faciès de dégradation liés à l'influence de l'homme : mise en culture de la partie aval (fs) et pâturage, exploitation du bois et feu de brousse à l'amont (FS2).

Tableau 6 : LEGENDE DE LA CARTE DES SYSTEMES ECOLOGIQUES DU B.V DE MOUDA

SIGLES DES SYSTEMES		FS3	FS2	fs	VM2	VM1	vm	VD1	vd	H.v1	H.v	HF1	fn	FR2	FR1	A								
RELIEF LITHOLOGIE GEOMORPHOLOGIE (SECTEURS ECOLOGIQUES)		Collines et versants de raccourcement-pente 5 à 30 % altitude 450/600 m-série vulcano-sédimentaire de Mouda. Roches basiques et affleurements de roches acides.			Giacis couvert à pente douce 3 à 1 %. Façonné sur des argiles sombres à nodules calcaires, griffes et bad lands à l'aval et à proximité des axes de drainage. Altitude : 440 / 460 m				Pénéplaine avec tombements grossiers et quartzite pente : 7 à 1 % altitude : 500 / 450 m			Libri-nieur majeur et terrasses du Kayo. Altitude 420/450 m												
SOLS	TYPE PEDOLOGIQUE DOMINANT	Sols peu évolués à faciès fersiallitique (Regosoliques) vers le bas, sols fersiallitiques à faciès vertique			Vertisol à pédoclimat sec		Vertisol à pédoclimat sec dégradé planosolique localement hardé (solonetz)		Idem-faciés signés de régosolique hardé		Sols ferrugineux différenciés et indurés (orange importante) localement faciés planosolique dégradé en hardé (HF1)			Sol peu évolué alluvial										
	RUISSELLEMENT EROSION	Ruissellement et érosion faible très localisé			Faible érosion. Ruissellement à fort si saturé en surface		Très fort ruissellement pouvant dépasser 50 %		Très fort ruissellement en griffes		Ruissellement et érosion moyens, très sensibles si cultures			Faible										
	Coefficient d'efficacité des pluies (%)	90 - 100		80 - 90	75-80		80-90	50-70	65-80	20-50		90-100		80-90	80-90									
	Réserve d'eau utile pour végétation R.U (mm/50 cm)	30/60	70/80		70/80		60/70		40/50	60/70	30/40	35/50		60/70										
ACTIVITES HUMAINES	HABITAT, POINTS D'EAU	habitat, dense, quartiers (puits temporaires)			Pas d'habitat				Pas de point d'eau			Habitat dense (villages) ou puits temporaires		néant ou puits										
UTILISATION DES TERRES	parcours cueillette de bois, plantation forestière			cultures jachère coton, mil de saison		Parcours cueillette		jachère ancienne parcours		culture sorgho de saison régulier		parcours cueillette de bois		culture coton, sorgho contre saison jachère		Utilisation faible parcours et cueillette		culture saison jachère coton S.A.		parcours cueillette du bois				
VEGETATION PRINCIPALE	TYPE PHYSIONOMIQUE (FORMATION)	Savane arborée et herbeuse		savane herbacées chaumes		savane arborée à épineux		culture ou chaume		savane arborée à épineux		culture ou chaume		Savane arborée très claire			culture ou chaume		Savane arborée		Savane arborée		Ripisylve	
	ESPECES LIGNEUSES DOMINANTES	Baobab, Sterculia setigera, Anogeissus leiocarpus, Combretum glutinosum		Acacia albida, Piliostigma reticulata		(sauf vm et vd) Acacia hockii, Acacia seyal, Combretum glom.		Acacia seyal, pilius reticulata		Zisiphus mauritania, Dichrostachys glomerata		Anogeissus leiocarpus, Dichrostachys glutin.		Lannea humilis, Sclerocarya birnea.		Anogeissus leiocarpus, Sclerocarya birnea, Sterculia setigera		Combretum glutinosum, Annona senegalensis, Ficus reticulata		Anogeissus leiocarpus, Diospyros mespiliformis				
	ESPECES HERBACEES DOMINANTES	Andropogon gayanus, Thelepogon elegans		Loudetia togoensis		Loudetia togoensis		Loudetia togoensis		Schoenel-gracilis, Chloris lampropania		Schoenel-gracilis, Microchloa indica		Schizachyrium evile, Chloris lampropania		Loudetia togoensis, Sphenobolus festinus, Cassia mimocides		Pennisetum pedicelatum						
	ETAT DU COUVERT VEGETAL	très bon		bon	faible sauf si culture		assez bon		bon	faible sauf à culture		moyen		faible			très bon		bon	très bon				
	% COUVERT DES PERENNES	40 - 50		25 - 30	5	20-30		20-30	20-30	5	20	5-7		15	5-8		7	30-50		30-40	40-60			
SURFACE	- en ha - en %	18,5 1,1		106 5,9	12,5 0,7		348 19,2		225 12,1	55 3,0	603 33,2		62 3,4	205 11,3		69 3,8	106 5,9							

Bien que les pentes rencontrées sur ce secteur soient les plus fortes du bassin (5 à 30 %), l'érosion et le ruissellement sont faibles et localisés. Par conséquent, les coefficients d'efficacité des pluies sont des plus élevés et la réserve d'eau utile pour la végétation est importante seulement dans la partie aval.

a) Les sols

Deux types de sol sont rencontrés dans ce secteur. Ils se développent sur la série vulcano-sédimentaire de Maroua, constituée de roches basiques. Ce sont :

- les sols peu évolués régosoliques à faciès fersiallitique. Ils sont situés à la partie amont de la colline. Ces sols sont peu profonds (50 cm) avec un horizon organique de l'ordre de 10 cm. Ils sont constitués de blocs de cailloux de taille variable entre lesquels on trouve des éléments plus fins (terre) et par où cheminent les racines des arbres ainsi que l'eau qui tombe sur le sol. L'infiltration de l'eau des pluies est très importante, malgré la pente très élevée (pas de ruissellement au niveau d'un bassin hydrologique installé dans cette zone).

Les sols fersiallitiques sont rencontrés plus à l'aval. Ils sont à faciès verticale. La pente ici est très faible. C'est la zone la plus anthropisée du secteur.

b) Les groupements végétaux

Ils correspondent ici aux systèmes écologiques :

- FS3 - Savane arborée à **Boswellia dalzielii** en très bon état. Sol peu évolué à faciès fersiallitique. Utilisation : parcours, rarement exploitation du bois de chauffage (accès difficile).
- FS2 - Savane arborée ou herbeuse plus ou moins dégradée, plantation forestière. Sol fersiallitique parfois à faciès verticale. Utilisation : parcours, essais forestiers, jachère.
- fs - Cultures et jachères récentes, village. Sol fersiallitique faciès verticale. Utilisation : habitat, cultures variées de saison.

La savane arborée en très bon état (FS3)

La végétation de FS3 a la physionomie d'une savane arborée. Elle comporte les arbres de la strate haute tels que **Boswellia dalzielii** et **Sterculia setigera** qui dominent la végétation à toutes les saisons. A ces deux espèces s'ajoutent **Anogeissus leiocarpus** et **Balanites aegyptiaca**. Leur taille peut aller jusqu'à 10 m et leur recouvrement 30 % pendant la saison de végétation.

Les autres ligneux rencontrés appartiennent à la strate basse. Ce sont surtout *Annona senegalensis*, *Piliostigma thonningii* et diverses espèces de *Combretum*. Le recouvrement global des ligneux peut atteindre 50 %. Mais il faut signaler que pendant la saison sèche, la plupart des espèces sont sans feuilles et ont ainsi un très faible recouvrement.

Dans la strate herbacée, on note un très petit nombre d'espèces, comparativement aux autres systèmes écologiques, dominées par *Andropogon gayanus* et *Thelopogon elegans*. Cette pauvreté en espèces disparaît progressivement quand on va du sommet de la colline vers le bas. Elle est compensée par un recouvrement important (100 %) en pleine saison des pluies et surtout par la grande taille des herbes ($\pm 1,50$ m). Les espèces dominantes recouvrent le sol à près de 80 %. Le reste du sol est recouvert par les autres graminées et les herbes à feuilles larges (phorbes) (cf. liste floristique en annexe 3).

La pauvreté spécifique signalée plus haut s'illustre bien à travers le comportement d'une espèce : *Pennisetum pedicellatum*. En effet, cette espèce paraît disparaître progressivement au fur et à mesure que l'on monte en altitude, même aux pieds des arbres les plus touffus, ce qui n'est pas observé dans les autres stations.

Les adaptations de plantes à la vie xérophytique (présence d'épines, succulence, caractère tomenteux...) sont rares. Presque tous les ligneux sont des Phanérophytes ; mais les graminées et les autres herbes sont des Thérophytes.

Les groupements dégradés et les cultures (FS2 et fs)

Les groupements dégradés et les cultures se trouvent localisés dans les sols fersiallitiques.

La végétation de FS2 a la physionomie d'une savane arborée très dégradée par l'action anthropique, ou d'une savane herbeuse. L'action anthropique est matérialisée par l'exploitation du bois de chauffage, le tracé des routes et des pistes et l'enlèvement de la couche superficielle du sol pour les besoins de la construction (fabrication des briques de terre). Elle est aussi matérialisée par des essais de reboisement par les forestiers. Le résultat est qu'il existe un grand nombre de petites unités de végétation de dimensions réduites.

Les arbres et arbustes de ce système (FS2) sont dominés par *Anogeissus leiocarpus*, qui a un faible recouvrement (10 %) sans doute à cause de l'action anthropique. Dans la strate herbacée, on rencontre *Loudetia togoensis*, *Spermacoce ruelliae* et *Hackelochloa granularis* qui dominent l'ensemble de ce système. Cependant, il existe des groupements localisés qui ont leurs dominantes propres. C'est ainsi qu'au bord des routes, on rencontre *Heteropogon contortus* et *Cleome viscosa*. Autour des points humides, dominant *Echinochloa colona*, *Ortyza barthii* et *Cyperus* sp.

Au niveau des herbacées, on note une grande diversité : graminoides et phorbés se mélangent ; annuelles et pérennes coexistent. Le recouvrement herbacé est aussi important qu'au niveau de FS3, mais la taille des espèces n'y est pas aussi grande.

L'unité fs est essentiellement représentative des cultures. Le coton et le sorgho sont les principales en saison des pluies. A l'intérieur des parcelles cultivées ou en jachère récente on rencontre une espèce ligneuse : **Acacia albida**. Comme adventive des cultures, on trouve **Striga hermontheca**, **Eragrostis aspera** et **Leucas martinicensis**. Plus près de la route, on trouve **Dactyloctenium aegyptium**.

Dans ce système écologique, se trouve le village, avec des habitats plus ou moins groupés. Autour de celui-ci se dressent des arbres plantés tels que **Azadirachta indica**, et d'autres entretenus pour leur ombrage : **Tamarindus indica**, **Ficus spp.**, etc.

3.3.2 Le secteur des glacis couverts à pente douce

C'est le plus important secteur du domaine d'étude, d'abord parce qu'il couvre une grande surface, ensuite parce qu'il possède une gamme importante de systèmes écologiques. Il comporte en effet sept systèmes écologiques, tous appartenant à la séquence des savanes à épineux sur vertisols. A l'intérieur de cette séquence, il existe des divisions :

- les vertisols modaux (VM_2 , VM_1 , vm)
- les vertisols dégradés (VD_1 et vd)
- les "hardés" (HV_1 et HN_1).

Ce sont tous des sols à pédoclimat sec. Ils ont une pente faible qui varie de 1 à 3 %.

L'utilisation du sol est variée dans les vertisols :

- culture de contre-saison (Mouskouari),
- culture de saison sèche (mil ou coton),
- parcours,
- exploitation du bois de chauffage (**Acacia seyal**, **Acacia caffro**, etc.),
- cueillette des fruits et des feuilles pour légumes (feuilles de **Balanites aegyptiaca**).

a) Les vertisols modaux (VM_2 , VM_1 , vm)

Les sols

Ce sont des sols de couleur foncée en surface, recouverts parfois d'une pellicule de battance, quelquefois avec des cailloux de roche verte volcanique. A l'état sec, ils présentent des fentes de retrait et un micro-relief bosselé. Ils ont une texture argileuse et une faible porosité sur tout le profil. Quand il pleut, ils absorbent de l'eau et gonflent. Ils ont une

épaisseur de 160 cm et plus, et des horizons peuvent parfois s'y distinguer, différenciés par la structure et la couleur.

L'érosion y est faible, et le ruissellement moyen ou fort selon que le sol est saturé en surface ou non. La réserve d'eau utile pour la végétation est importante.

Les groupements végétaux

• Les savanes à épineux (VM₂)

On ne les retrouve plus que sous forme de reliques car les vertisols modaux, terres riches, sont ou ont été constamment cultivés. Cependant, à la limite sud du bassin on trouve une petite bande de ces savanes, à proximité des cultures. De même, à côté du site 3, il existe une autre petite tache qui doit correspondre à la transition entre VM₂ et VM₁. En fait, il s'agit ici d'une jachère très ancienne qui évolue lentement vers VM₂, malgré l'exploitation intensive du bois.

La végétation de VM₂ est une transition entre une savane arborée et une savane arbustive. En fait, elle est presque dominée par une seule espèce ligneuse, *Acacia seyal*, à laquelle s'ajoute, par endroits *Dichrostachys glomerata*. Leur taille maximale avoisine 5 m. Le trait caractéristique ici est l'apparence monospécifique qu'affiche cette savane arbustive à épineux.

La strate herbacée est dominée par *Andropogon gayanus* et localement par *Loudetia togoensis*. A l'intérieur de ces herbes, une espèce domine par sa présence, bien qu'étouffée à cause de son faible recouvrement. Il s'agit de *Spermacoce filifolia*.

* Les jachères plus ou moins anciennes (VM₁)

Les jachères sur vertisols modaux (VM₁) ont une physionomie qui varie en fonction de la date d'abandon de la mise en culture, et du degré d'exploitation du bois que l'on y trouve. Mais d'une façon générale, il s'agit d'une savane arbustive dont la plupart des ligneux sont des épineux, et qui évolue assez rapidement malgré la coupe intempestive des arbustes.

Cette végétation est caractérisée par l'absence d'une strate arborée nette. Elle est dominée par des ligneux bas tels que : *Acacia seyal*, *Acacia hockii*, *Piliostigma reticulata* et des *Combretum* divers. A ces espèces, s'ajoute par endroits *Anogeissus leiocarpus* qui dépasse rarement 4-5 m. Plus bas, on note la présence des repousses d'*Acacia seyal* et localement de *Lanea humilis* qui sont parfois seulement au niveau de la strate herbacée. Cette dernière est dominée par *Andropogon gayanus* et *Loudetia togoensis*.

Le recouvrement ligneux est voisin de 25 % alors qu'en période de végétation, celui des herbacées est de 100 %, sauf en certains points où une strate très basse apparaît ; pratiquement monospécifique, elle est constituée de **Centella asiatica**. A ces emplacements, le recouvrement ne dépasse que rarement 60 %.

Une autre particularité de ce système est l'existence de points temporairement inondés, autour desquels dominent **Hygrophila auriculata** en monospécifique ou en association avec **Echinochloa colona**. Souvent, ces deux espèces sont recouvertes par **Pennisetum pedicellatum** au point de devenir à peine visibles malgré leur densité. On retrouve cette dernière espèce, regroupée de la même manière, au pied des ligneux, en association avec **Setaria pumilla**.

D'une façon générale, les plantes herbacées ont ici une taille moyenne voisine de 50 cm. Cette taille est souvent largement dépassée, en particulier au voisinage des points temporairement inondés. Elle peut aussi être plus basse, surtout aux endroits où domine **Centella asiatica**.

Parmi les premières espèces herbacées qui s'installent dans les vertisols modaux, on note la présence des Liliacées, plantes à bulbes, dont la plus connue est **Dimiopsis cf barteri**. Comme autre espèce pérenne, il y a **Sporobolus festivus**.

La diversité des types morphologiques est donc assez grande au niveau des herbacées :

- plantes rampantes et dressées,
- types cespiteux et uniculmaires,
- plantes rhizomateuses,
- etc.

* Les cultures et les jachères récentes (vm)

Ce sont les terres de prédilection de la culture du Mouskouari, sorgho repiqué de contre-saison. La culture de saison pluvieuse peut se pratiquer sur les sols intergrades de cette unité. Ce sont alors des vertisols dégradés. Elles se pratiquent lorsque le sorgho de saison sèche paraît ne plus donner un rendement important.

Cette unité peut être estimée à 60 à 70 % en superficie, par rapport à l'ensemble des vertisols modaux.

Les adventices des cultures de saison sont surtout **Dactyloctenium aegyptium**, **Eragrostis aspera**, **Striga hermontheca**, etc. Quand il s'agit de la culture de contre-saison, les parcelles ont moins d'adventices.

La description du tapis herbacé dans les jachères récentes n'est pas très différente de celle que nous avons faite dans VM₁, si bien que la confusion entre les deux, en fin de saison des pluies est possible si on ne considère pas l'existence des

ligneux. Ces derniers sont réduits à quelques repousses d'**Acacia seyal** et de **Piliostigma reticulatum**.

b) Les vertisols dégradés (VD₁ et vd)

Les sols

Ce sont encore des vertisols à pédoclimat sec, présentant un faciès dégradé. Le ruissellement est plus fort que sur les vertisols modaux, et peut parfois dépasser 50 %, ce qui entraîne un décapage. L'infiltration est faible à cause d'une pellicule de battance qui entraîne une diminution du coefficient d'efficacité des pluies. La réserve d'eau utile pour la végétation varie de 60 à 70 mm/50 cm.

Les groupements végétaux

La physionomie de la végétation est celle d'une savane arbustive à épineux. Cependant, on note la présence de quelques ligneux constituant une strate haute. Ces ligneux hauts, trop dispersés dans l'espace pour apparaître nettement, sont constitués de : **Anogeissus leiocarpus**, **Sterculia setigera**, **Sclerocarya birrea** et **Boswellia dalzielii**.

Les ligneux qui dominent la strate basse sont : **Acacia hockii**, **Ziziphus mauritiana**, **Dichrostachys glomerata**. A ces espèces, s'ajoutent dans la même strate **Feretia apodanthera** et **Piliostigma reticulatum**.

La strate herbacée est dominée par **Loudetia togoensis** et **Chloris lamproparia**.

Le recouvrement des ligneux est assez variable, en fonction de l'état de dégradation. Il est de 5 % pour les stades les plus dégradés. Le recouvrement des herbacées l'est aussi. Dans quelques cas, il est voisin de 100 %. Mais pour les stades très dégradés assez proches des "hardés", il est très faible. L'état du couvert végétal est dégradé, par rapport à celui des vertisols modaux.

Quelques particularités du milieu peuvent être notées :

- le nombre d'espèces végétales par rapport aux vertisols modaux est faible,
- il y a un peu plus de plantes à bulbes que sur les vertisols modaux (liliacées), et moins de **Sporobolus festinus** (graminée pérenne),
- les plantes grasses comme **Cissus quadrangularis** font leur apparition et s'intensifient dans les "hardés", utilisant parfois des ligneux tels que **Balanites aegyptica** comme support,
- une hétérogénéité allant des zones à végétation luxuriante aux endroits plus ou moins nus est notable. Sur ces premières zones, on rencontre de petites surfaces mises en culture (vd) et exploitées au voisinage des rares points humides, (culture du sorgho). Sur les secondes, on

retrouve souvent des termitières plus ou moins nombreuses, aux endroits où le sol est presque nu ("hardé").

c) les "hardés" (HV₁, HN₁, HF₁)

Le système HF₁ appartient au secteur de la pénéplaine avec bombement gneissique (ferrugineux) alors que HN₁ et HF₁ évoluent progressivement à partir des sols vertisoliques. Nous les avons réunis en raison de leur similitude physiologique et de leur régime hydrique.

"Hardé" est le terme fulfudé (fulfudé : langue peulh) qui signifie stérile. Il est employé au Nord-Cameroun pour désigner "tout terrain, généralement à faible végétation arbustive et graminéenne, à très forte compacité et très peu perméable, et duquel l'agriculteur sait qu'il ne tirera qu'une très médiocre récolte" (VAILLE, 1970).

Les sols et leur utilisation

Dans le bassin versant de Mouda, les sols "hardés" dérivent des vertisols (HV₁ et HN₁) ou des sols ferrugineux (HF₁) par évolution dans le sens de la dégradation. Ce sont des sols présentant un faciès dégradé planosolique (HV₁ et HF₁) ou régosolique (HN₁). Dans la plupart des cas, la surface du sol est recouverte d'une pellicule de battance. Cependant on note localement la présence des gravillons ferrugineux (HV₁ et rarement HF₁) et de nodules calcaires (HN₁).

L'érosion et le ruissellement y sont assez forts, surtout sur les nodules calcaires qui constituent le stade ultime de la dégradation, ce qui entraîne la formation des griffes et des ravins. Le coefficient d'efficacité des pluies est plus faible que dans tous les autres systèmes écologiques (20 à 50 %). La réserve d'eau utile pour la végétation l'est également, surtout sur HV₁ et HF₁ (40 à 50 mm/50cm) comparativement à HN₁ (60 à 70 mm/50 cm).

Le parcours est mauvais. Les cultures sont presque inexistantes.

La végétation

La végétation des "hardés" a la physionomie d'une savane arbustive très claire. Cette physionomie n'est pas typiquement la même pour les trois unités.

HV₁ est l'unité type avec deux strates :

- une strate arbustive dominée par *Dichrostachys glomerata*, *Combretum* ssp. et quelquefois *Lannea humilis*. A ces espèces s'ajoutent *Balanites aegyptiaca*, *Capparis* sp., *Cissus quadrangularis* et plusieurs acacias dont le plus commun est *Acacia gerrardii*.

- une strate herbacée dominée par **Schoenelfedia gracilis**, **Microchloa indica** et **Aristida hordeacea**. En début de saison des pluies, une Liliacée, plante à bulbe domine toute la strate herbacée (**Dimiopsis cf. barteri**).

L'unité HF₁ présente une légère différence en ce sens qu'elle est dominée par **Lansea humilis** et présente des ligneux de la strate haute tels que **Sclerocarya birrea**.

Dans les nodules calcaires (HN₁) la strate herbacée est dominée par **Dichrostachys glomerata** et **Combretum glutinosum** et par **Schizachyrium exile** et **Chloris lamproparia**. Dans cette dernière unité (HN₁), la végétation herbacée dépasse rarement 30 cm de hauteur, surtout au niveau des crêtes. On peut ici parler d'une steppe arbustive, en considérant cette petite taille des herbes. Cependant, dans les dépressions la végétation herbacée est très dense (100 % de recouvrement) et possède une taille voisine de 1 m.

Dans les "hardés" en général, les recouvrements sont très faibles et assez mal répartis. C'est ainsi qu'à côté des plages presque nues (recouvrement nul), on retrouve des points à très fort recouvrement. Dans le premier cas, on retrouve souvent des termitières en cheminées coniques d'**Odontotermes magdalenae**. Dans le deuxième cas il s'agit surtout des dépressions dans lesquelles s'est effectué un dépôt d'alluvions verticales, sur lequel domine **Setaria pumila**. Dans tous les cas, le recouvrement de l'ensemble demeure faible :

- 5 à 8 % pour HV₁ et HF₁,
- environ 15 % pour HN₁.

Il est à noter que HN₁, stade ultime de la dégradation, subit l'influence du domaine ripicole (véritable forêt à certains endroits) qui lui fait immédiatement suite.

3.3.3 Le secteur du plateau ferrugineux

La pénéplaine avec bombement de gneiss et de quartzite présente une savane arborée à **Anogeissus leiocarpus** en bon état. Elle présente plusieurs faciès de dégradation liés surtout à l'influence humaine. Ce secteur se situe à une altitude comprise entre 450 et 500 m et présente une pente faible à moyenne de (1 à 7 %). Nous avons divisé ce secteur en 4 systèmes écologiques FR2, FR1, fr et HF1. Nous ne décrivons ici que les trois premiers systèmes, le quatrième ayant fait l'objet d'une étude précédemment.

Les sols

Ce sont des ferrugineux différenciés et indurés, parfois à charge caillouteuse importante. Ils présentent localement un faciès dégradé planosolique en "hardé". Le ruissellement et l'érosion y sont moyens ; en savane par contre les sols sont très sensibles à l'érosion s'ils sont en culture. Par contre,

la réserve d'eau utile pour la végétation n'est pas très importante (35 à 50 mm/50 cm).

La texture des sols ferrugineux est sablo-argileuse en surface et l'argile tend à s'accumuler en profondeur où elle colmate les pores ; la teneur en matière organique est faible (1 à 2,5 %) (BRABANT, 1968). Le sol, d'une profondeur de 170 cm, montre plusieurs horizons. La porosité est bonne en surface et moyenne en profondeur (cf. chap. 5).

Les groupements végétaux

Nous étudions ici trois des quatre systèmes écologiques :

- FR2 - savane arborée à **Anogeissus leiocarpus** en bon état. Sol ferrugineux différencié et induré. Utilisation : parcours, exploitation du bois et cueillette.
- FR1 - savane arbustive à **Annona senegalensis** et à **Piliostigma reticulatum** en moyen état. Sol ferrugineux. Utilisation : parcours, jachère plus ou moins ancienne.
- fr - cultures et jachères récentes. Sol ferrugineux fragilisé. Utilisation : parcours, culture du coton, des arachides, du mil et du sorgho.

a) La savane arborée à **Anogeissus leiocarpus** (FR2)

La physionomie de l'unité FR2 est celle d'une savane arborée en bon état. Cette savane est plus complexe que les autres, à cause de la diversité des espèces végétales qui la composent. En effet, la liste floristique réalisée dans l'ensemble des ferrugineux montre une centaine d'espèces différentes (voir listes floristique en annexe 3).

L'unité FR2 est différenciée en trois strates :

- une strate ligneuse haute dominée par **Anogeissus leiocarpus** auquel s'ajoute **Sclerocarya birrea** et **Sterculia setigera**. Les autres ligneux, dispersés dans cette strate sont **Strychnos spinosa**, **Boswellia dalzielii**, etc.

- une strate ligneuse basse dominée par **Combretum glutinosum**.

- une strate herbacée dominée par **Loudetia togoensis**, **Sporobolus festinus** et **Cassia mimosoides**. **Crotalaria retusa**, **Spermacoce ruelliae** et **Zornia glochidiata** sont fréquentes. A l'ombre des arbres on retrouve une forte proportion de phorbes et de **Pennisetum pedicellatum**.

Le recouvrement ligneux est important et peut atteindre 45 % en pleine végétation. Le recouvrement herbacé est de 100 % et la taille des herbes est voisine de 1 mètre.

b) Les jachères plus ou moins anciennes (FR1)

La physionomie de la végétation de FR1 est celle d'une savane arbustive, en bon état et en évolution rapide. La complexité matérialisée par le nombre très élevé d'espèces végétales, signalé dans l'unité FR2 reste valable, surtout au niveau de la strate herbacée.

Dans la strate ligneuse basse, on note une nette dominance d'**Annona senegalensis** et de **Piliostigma thonningii**. D'autres ligneux régulièrement répartis dans les jachères anciennes sur ferrugineux sont les diverses espèces de **Combretum**, **Cissus cornifolia** (non ligneux) et **Guiera senegalensis**.

La strate herbacée est dominée par **Loudetia togoensis**, **Setaria pumila**, **Spermacoce ruelliae** et **Sporobolus festivus**. Dans cette strate l'une des caractéristiques notables est la dominance localisée, dans l'espace ou dans le temps, d'une espèce ou d'un groupe d'espèces. Nous pensons qu'elle est liée à la date de mise en jachère de la parcelle.

Les recouvrements sont assez importants pour les ligneux (35 %) comme pour les herbacés (100 %).

Quelques particularités du milieu peuvent être notées :

- existence de quelques rares points humides au niveau desquels se développent **Echinichloa colona** et **Gladiolus psittacinus**.

- existence sur toute l'étendue des ferrugineux d'un grand nombre d'espèces herbacées pérennes et d'une grande diversité de types morphologiques.

- présence et concentration de phorbes et de **Pennisetum pedicellatum** au pied des arbres et des arbustes.

c) Les cultures et les jachères récentes (fr)

Les sols ferrugineux sont exploités pour la culture du mil (sorgho), du maïs, du coton, des arachides, etc.

Les jachères récentes possèdent une forte proportion de phorbes tels que **Leucas martinicensis**, **Spermacoce spp.**, **Crotalaria spp.** On note aussi la présence de graminées telles que **Dactyloctenium aegyptium**.

Piliostigma thonningii est l'un des rares ligneux à coloniser les terres de culture. Il peut être considéré comme indicateur de la jachère sur ferrugineux et même sur les autres systèmes écologiques. Son développement peut renseigner sur l'âge de la jachère.

3.3.4 Le secteur ripicole (A)

Il s'agit du lit mineur, majeur et des terrasses du mayo. C'est une zone de dépôt des alluvions, située à une altitude comprise entre 440 et 450 m.

Les sols

Ce sont des sols peu évolués alluviaux. L'érosion et le ruissellement y sont faibles. Le coefficient d'efficacité des pluies varie entre 80 et 90 %. La réserve d'eau utile pour la végétation est comprise entre 60 et 70 mm/50 cm. Ces zones présentent des risques d'inondation fréquente ; ce sont des milieux humides. Ces sols sont utilisés pour les parcours. Il y a aussi exploitation pour le bois de chauffage.

La végétation

La physionomie de la végétation ripisylve (A) est une savane arborée ou rarement arbustive sur les sols pauvres ("hardés") où une véritable forêt sur les terres les plus riches (sols alluviaux). Les recouvrements ligneux sont importants et varient de 40 à 60 %. Ces ligneux sont représentés en deux strates :

- une strate arborée, dominée par *Anogeissus leiocarpus*, *Diopyros mespiliformis*. A côté de ces arbres dominants, on en note d'autres tels que *Sclerocarya birrea*, *Sterculia setigera* et quelques fois *Boswellia dalzielii*.

- une strate arbustive dominée par *Combretum glutinosum* et *Acacia hockii*. Entre les deux strates, existe *Acacia ataxacantha* qui présente des touffes impénétrables.

La strate herbacée est dominée par *Pennisetum pedicellatum* et une forte proportion de phorbes. Cependant, au pied des arbres les plus touffus, la strate herbacée est très espacée (sol presque nu).

En résumé, l'état du couvert est très bon dans ces systèmes et il y a une grande quantité d'espèces végétales d'origine soudanienne.

3.4 Aspects dynamiques

La dégradation des vertisols modaux s'accompagne de la disparition des fentes de retrait, de la formation d'une pellicule de battance et d'une tendance à l'alcalisation voire à la planosolisation. Par ailleurs, l'épaisseur du sol au-dessus de l'horizon à nodules calcaires diminue par érosion et passe de 60 cm environ sur les vertisols modaux à 30 cm sur les "hardés". Au voisinage des mayos l'horizon à nodules calcaires apparaît et l'on passe même à un régosol.

- pour les ligneux : diminution du couvert d'*Acacia seyal* qui domine sur les vertisols modaux ; apparition de *Lannea humilis* et augmentation d'*Acacia gerrardii* et *Acacia hockii*.

- pour les herbacées et en particulier les graminées : diminution du nombre d'espèces avec la dégradation. **Loudetia togoensis** des vertisols modaux cède la place à **Schoenelfedia gracilis** et **Chloris lamproparia**. Le terme ultime, sur les nodules calcaires, est la dominance de **Schizachyrium exile**. Par ailleurs, on note une augmentation de la présence des plantes à bulbe sur "hardés" par rapport aux vertisols modaux.

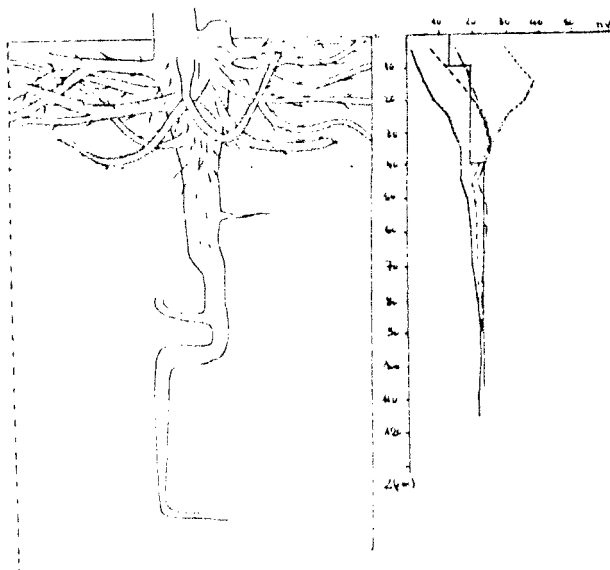
Les sols ferrugineux présents sur le bassin sont déjà très anciens et dégradés. Le terme ultime de cette dégradation peut conduire à l'érosion du sol jusqu'à l'apparition de la cuirasse qui affleure par endroits.

D'une façon générale on observe, accompagnant la dégradation :

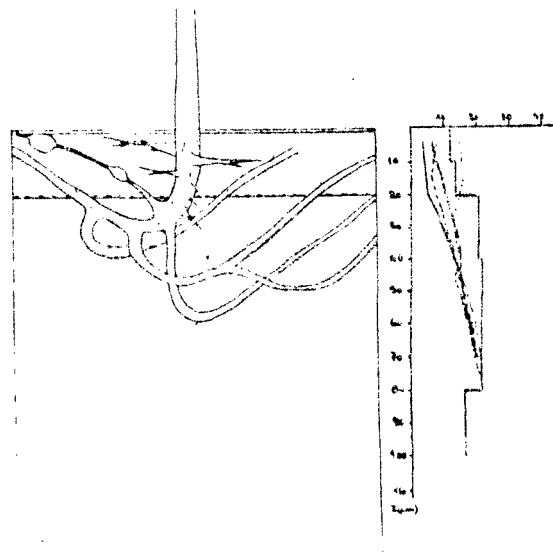
- une diminution des éléments soudaniens dans les formations dégradées (comme par exemple **Anogeissus leiocarpus**, **Tamarindus indica**, **Boswellia dalzielii**,...)
- une augmentation parallèle liée à l'aridité édaphique croissante des éléments sahéliens (comme par exemple **Acacia senegal**, **Bauhinia rufescens**, **Boscia senegalensis**, **Maerua crassifolia**,...)
- une diminution de la diversité floristique ;
- une augmentation des arbustes épineux ;
- une diminution du nombre de graminées pérennes.
- une augmentation des espèces à cycles courts ;
- une diminution de la biomasse et de la production végétale.

Les formations les moins anthropisées du bassin présentent l'aspect de savanes arborées assez claires (sur sols ferrugineux et sur les sols fersiallitiques des collines). Elles pourraient évoluer physionomiquement, par mise en défens, vers des formations végétales comparables à celles des réserves forestières de la région (Gokoro, Laf et Zamay) où le couvert arbustif et arboré est actuellement beaucoup plus dense ; cette régénération du couvert de toutes les strates ne s'accompagnant pas forcément d'une augmentation des éléments soudaniens (LETOUZEY, 1968).

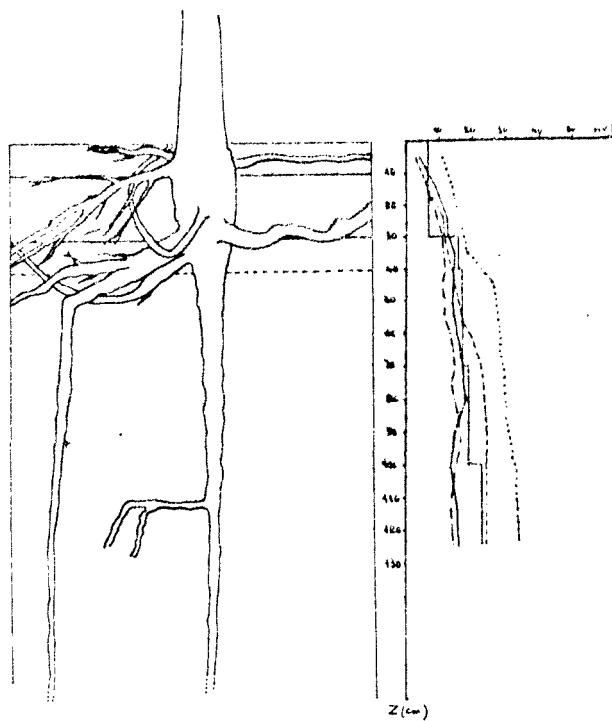
Il se pose en effet le problème de la réversibilité de ces processus de dégradation. Les perturbations anthropiques répétées et trop intenses ont conduit à des formations dégradées très stables. La diminution de la fréquence ou de l'intensité de ces perturbations n'est pas susceptible de permettre le retour dans un laps de temps raisonnable au niveau de productivité antérieur. Des seuils d'irréversibilité ont été franchis, liés en particulier à la diminution de la réserve hydrique potentielle que peuvent constituer les sols (diminution de l'épaisseur par érosion). A l'aridité climatique s'est ajoutée, par dégradation, une aridité édaphique (FLORET et PONTANIER, 1984) en raison de cette réduction d'épaisseur et



Acacia seyal sur vertisol (VM 1.2)



Lananea humilis sur "hardé" (HV₁)



Acacia hockii sur sol ferrugineux (FR₂)

LEGENDE
 — 6.5.86
 - - - 10.6.86
 20.8.86
 ····· 15.11.86
 4 Profil hydrique à
 = -16 b
 Hv% Humidité volumique

Fig. n°3 EXEMPLES D'ENRACINEMENT D'ESPECES LIGNEUSES EN RELATION AVEC QUELQUES ETATS HYDRIQUES AU COURS DE L'ANNEE (MOUDA)

de l'augmentation du ruissellement par détérioration des caractéristiques physico-hydriques de l'épipédon. Une partie de cette eau de ruissellement n'est cependant pas perdue et permet une agriculture à contre-saison dans les zones inondables.

Une limitation des prélèvements de ligneux et une diminution de la charge en animaux peut cependant permettre à notre avis, après quelques années, une augmentation de la perméabilité des sols, en particulier sous les arbres, et un meilleur recyclage de la matière organique. Une régénération partielle de ces écosystèmes dégradés est possible. On a d'ailleurs assisté sur les "hardés", mis en défens dans le cadre du Projet (Bassin de ruissellement BV2), à une très notable augmentation du couvert des annuelles au cours des années d'observation.

Les strates herbacées et arbustives qui sont en forte compétition pour l'eau dans les milieux les plus dégradés, semble montrer une certaine synergie là où la dégradation est moins forte (couvert plus dense et plus fort développement des espèces herbacées sous les arbres).

Les quelques profils racinaires effectués (cf. figure 3) montrent d'ailleurs que si cette compétition pour l'eau s'exerce fortement dans les couches superficielles du sol (0-40cm), la strate arbustive tire seule partie de l'eau qui parvient à s'infiltrer en profondeur (fentes des vertisols, sols ferrugineux à texture légère).

Dans les formations touffues de la "forêt ripisylve" en revanche, l'absence de lumière suffisante diminue fortement la strate herbacée. Il existe un degré de couvert optimal de la strate arbustive, à déterminer, variable suivant le type de sol, qui permet une production optimale à la fois des herbacées et des ligneux.

4 - CYCLE DE VIE DES PRINCIPALES ESPECES VEGETALES, EN RELATION AVEC LES FACTEURS EDAPHIQUES - PARTAGE DE LA RESSOURCE HYDRIQUE -

4.1 Introduction

Dans la région de Maroua, où se déroule l'étude, ni la strate ligneuse, ni la strate herbacée ne sont jamais exclues du paysage, bien que variant à l'intérieur d'une large gamme de proportion.

Cette compétition se manifeste principalement par une concurrence très forte pour la ressource hydrique. Ce facteur est reconnu limitant dans ces régions (ADAM, 1957 ; WALTER, 1971 ; POUPON, 1979 ; GROPUZIS et SICOT, 1980 ; CORNET, 1981 ; TOGOLA, 1982 ; WALKER et NOY-MEIR, 1982 ; etc.).

De cette concurrence, résulte un déploiement de stratégies adaptives variées. Peu d'indications sur le fonctionnement des espèces végétales de ces types d'écosystèmes sont actuellement acquises.

Les données recueillies doivent permettre :

(i) de comprendre quelles sont les différentes niches écologiques, à la fois spatiales et temporelles, occupées par les espèces coexistantes. Par ailleurs, les structures phénologiques de certaines plantes peuvent aussi être adaptées à un environnement passé (qui n'existe plus) par lequel elles ont été sélectionnées.

(ii) d'expliquer les dominances (cycle phénologique mieux adapté par exemple) en fonction du milieu (type de sol) et des perturbations variables qu'accuse ce milieu (température, pluviométrie, hygrométrie). Autrement dit, on se propose de caractériser "les relations liant la périodicité de la végétation aux facteurs du milieu, en vue de déterminer les facteurs discriminants du comportement phénologique des espèces et de prévoir leurs réactions aux fluctuations des variables écologiques" (GROUZIS et SICOT, 1980) ;

(iii) de saisir la réponse des communautés végétales aux perturbations à long terme (dégradation, hardéisation...) afin de prévoir l'évolution possible de l'environnement actuel.

D'autres raisons, d'ordre plus pratique en vue d'une gestion rationnelle du milieu, justifient par ailleurs une étude phénologique : le comportement phénologique des différentes espèces fourragères est un complément indispensable d'appréciation de leur intérêt pastoral (PIOT et al., 1980).

Tableau 7 - ECHANTILLONNAGE DES ESPECES LIGNEUSES
PAR STATION

Types sols 21 Espèces	Hardé	Vertisol	Ferrugineux
!Sclerocarya birrea.	! 1	! 2	! 3
!Acacia hockii	! 5	! 5	! 10
!Acacia senegal	! 5	! 0	! 0
!Acacia gerrardii	! 10	! 0	! 0
!Dichrostachys cinerea	! 6	! 0	! 0
!Lannea humilis	! 10	! 5	! 0
!Acacia seyal	! 5	! 11	! 0
!Balanites aegyptiaca	! 5	! 5	! 0
!Sterculia setigera	! 3	! 0	! 2
!Ziziphus mauritiana	! 0	! 10	! 0
!Entada africana	! 0	! 6	! 0
!Combretum fragrans	! 0	! 6	! 0
!Combretum glutinosum	! 0	! 5	! 10
!Piliostigma reticulatum	! 0	! 10	! 3
!Anogeissus leiocarpus	! 0	! 5	! 10
!	!	!	!
!Piliostigma thonningii	! 0	! 0	! 7
!Bridelia ferruginea	! 0	! 0	! 10
!Combretum glutinosum	! 0	! 0	! 5
!Annona senegalensis	! 0	! 0	! 10
!Strychnos spinosa	! 0	! 0	! 5
!Dombeya quinqueseta	! 0	! 0	! 5
!TOTAL : 200 individus	! 50	! 70	! 80

Le travail, présenté ici, a porté sur trois types de sol du bassin versant de Mouda situé en zone soudano-sahélienne (PPS, 1982 ; BRABANT et GAVAUD, 1985 ; THEBE, 1987). Les sols dont la végétation a fait l'objet d'un suivi phénologique sont:

- un vertisol très dégradé appelé aussi "hardé", terme fulfuldé désignant les sols stériles, compacts, à tendance halomorphique et battants ;

- un vertisol modal, sol argileux, épais, submergé localement de façon temporaire, présentant des fentes de retrait importantes en saison sèche ;

- un sol ferrugineux, sol sableux, rouge, à cuirasse pouvant affleurer localement, très caillouteux.

4.2 Matériel et méthode

Le suivi phénologique d'un certain nombre d'espèces ligneuses et herbacées a été effectué d'avril 1986 à novembre 1987 et couvrait donc deux saisons des pluies.

4.2.1 Le choix des sites d'observation

Trois stations ont été choisies pour l'étude phénologique de leur végétation parce qu'ils correspondent à ces trois types de sols, largement représentés dans la région.

Le choix des sites de relevés a été guidé par l'installation de tubes de mesure d'humidité neutronique. Nous avons cherché à ne pas nous éloigner de ces tubes, afin que la mise en relation des cycles phénologiques avec l'évolution de l'humidité mesurée, ne soit pas trop biaisée par l'hétérogénéité du milieu.

4.2.2 L'échantillonnage

Cette étude étant consacrée à la fois aux ligneux et aux herbacées, des méthodes différentes ont été employées pour chacun de ces groupes.

4.2.2.1 Les ligneux

Pour les ligneux, on a sélectionné les individus à suivre; le principe a été de retenir, d'une part les espèces les mieux représentées sur chacune des stations, d'autre part un nombre d'individus par espèce qui soit proportionnel à l'effectif présent. Le tableau 7 résume l'échantillonnage effectué.

La majorité des individus des espèces était située dans un rayon de quelques dizaines de mètres autour du tube de mesure d'humidité, mais pour d'autres espèces présentes sur les stations, certains individus ont été observés jusqu'à une distance de 70 m de la station.

4.2.2.2 Les herbacées

Pour les herbacées, on a disposé au hasard des placettes carrées de 30 centimètres de côté à proximité (10 mètres maximum) des tubes de sonde de chaque station. Le tableau n° 8 donne leur répartition.

Pour la première saison des pluies, nous avons disposé de 35 placettes par site et durant la deuxième saison, de 15 placettes seulement. En plus de celles-ci 10 placettes, par site et pour les deux saisons ont été groupées dans un cercle métallique de 5 m² et de 50 cm de hauteur, qui était enfoncé légèrement dans le sol et dans lequel on a procédé à des irrigations pour simuler des pluies. Le cercle qui empêchait le ruissellement de l'eau apportée, était retiré après réessuyage du sol. Les apports d'eau supplémentaires ont été respectivement les suivants en avril et mai : 100 et 60 mm sur les sols ferrugineux ; 60 et 40 mm sur les vertisols et 60 et 40 mm sur les "hardés".

Le suivi de ces placettes arrosées a eu pour but d'étudier l'influence d'un apport d'eau conséquent, par rapport à la saison des pluies naturelles sur le cycle des espèces herbacées. En effet, des variations concernant la période à laquelle la disponibilité en eau du sol est importante pouvaient apporter des modifications en ce qui concerne les dates de germination et de floraison des espèces.

4.2.3 Nature, critères, fréquences des observations

4.2.3.1 Les ligneux

La méthode utilisée a été inspirée de celle de GROUZIS et SICDT (1980). Les observations ont porté, pour chaque individu, sur les phases de feuillaison (F), de floraison (F1) et de fructification (Fr). Chaque phase a été subdivisée en 5 stades.

4.2.3.2 Les herbacées

On s'est inspiré de la méthode DURRANTON (1978) pour le choix des paramètres à observer sur chacune des placettes.

Pour chacune des espèces présentes sur une placette, on a noté l'avancement de la feuillaison (F), de la floraison (F1) et de la fructification (Fr).

Chaque phase était subdivisée en 3 stades.

4.2.3.3 Fréquence des relevés

Pour les ligneux et les herbacées, la fréquence des relevés était, pour chaque station d'un relevé par semaine du début à la fin de la saison des pluies. On procédait à un

relevé tous les 15 jours, en fin de saison des pluies (octobre-novembre) pour les herbacées, et à un relevé par mois, en pleine saison sèche (décembre-janvier-février) pour les ligneux.

4.2.4 Dépouillement des données

4.2.4.1 Les ligneux

Les stades 2, 3 et 4 ont été regroupés pour déterminer la période photosynthétique, la période de floraison et celle de fructification de chaque individu. Puis on a établi des phénogrammes moyens de chaque espèce, sur chaque station, afin de pallier la variabilité individuelle des différentes phases.

4.2.4.2 Les herbacées

Des fiches phénologiques pour chaque population spécifique ont permis de déterminer l'avancement global des phases pour chaque espèce, sur l'ensemble d'une station donnée .

4.3 Résultats

Les principaux résultats sont présentés dans les figures 4, 5 et 6, et exposent les phases photosynthétiques et reproductives des espèces ligneuses et herbacées, observées pendant les deux années (1986 et 1987) sur chacune des trois stations étudiées en conditions naturelles.

En ce qui concerne les herbacées dont le cycle phénologique n'a pu être identifié qu'une année sur les deux, soit parce qu'elles n'ont pas été du tout observées cette année-là, soit parce qu'elles ont séché avant de fleurir, elles sont regroupées dans la figure 7.

Les phénorythmes des espèces herbacées inventoriées sur les placettes arrosées sont illustrées dans la figure 8.

Enfin, les figures 9, 10, 11 et 12 montrent l'évolution des facteurs climatiques et hydro-édaphiques des trois stations respectives.

4.4 Discussion

Dans un premier temps, une approche globale du comportement phénologique de la végétation des trois stations est développée. Des groupes d'espèces, ayant un rythme phénologique similaire, sont identifiés et leur comportement est interprété en termes de stratégies adaptatives.

L'analyse de la variabilité intersites des espèces ou groupes d'espèces est ensuite effectuée, en relation avec les facteurs édaphiques stationnels du milieu, afin de déterminer leur sensibilité à ces facteurs.

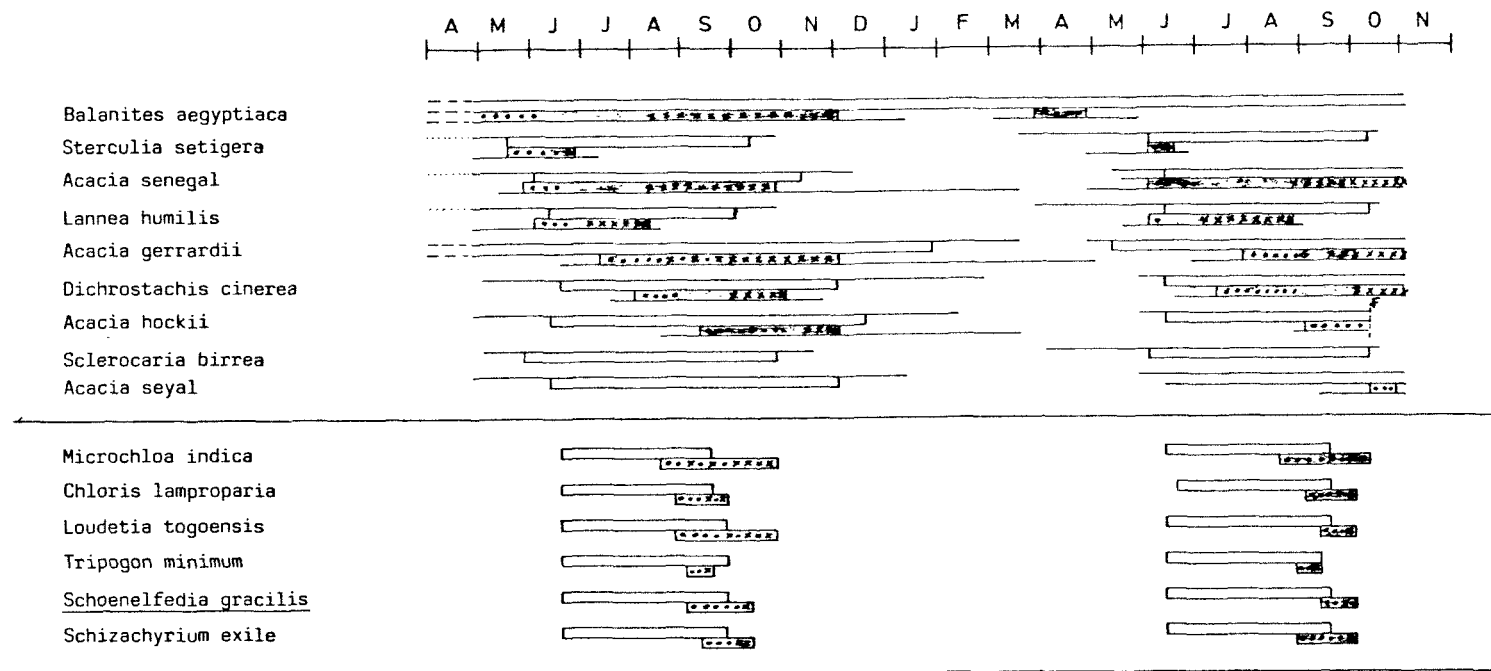


Fig.4. CYCLE DE VIE DES PRINCIPALES ESPECES LIGNEUSES ET HERBACEES SUR HARDE

- Légende:
- ▬ Cycle photosynthétique de l'apparition des feuilles jusqu'à leur dessèchement
 - ▬ Arrêt du cycle photosynthétique dû au passage du feu
 - ▬ Cycle reproducteur du début de la floraison jusqu'à la maturité des fruits
 - ▬ Floraison (du stade 2 au stade 4 pour les ligneux)
 - ▬ Fructification (du stade 2 au stade 4 pour les ligneux)
 - ▬ Phase initiatrice (bourgeonnement)
 - ▬ Phase résiduelle (dissémination)
 - ▬ Phase non observée ou non suivie jusqu'à son terme

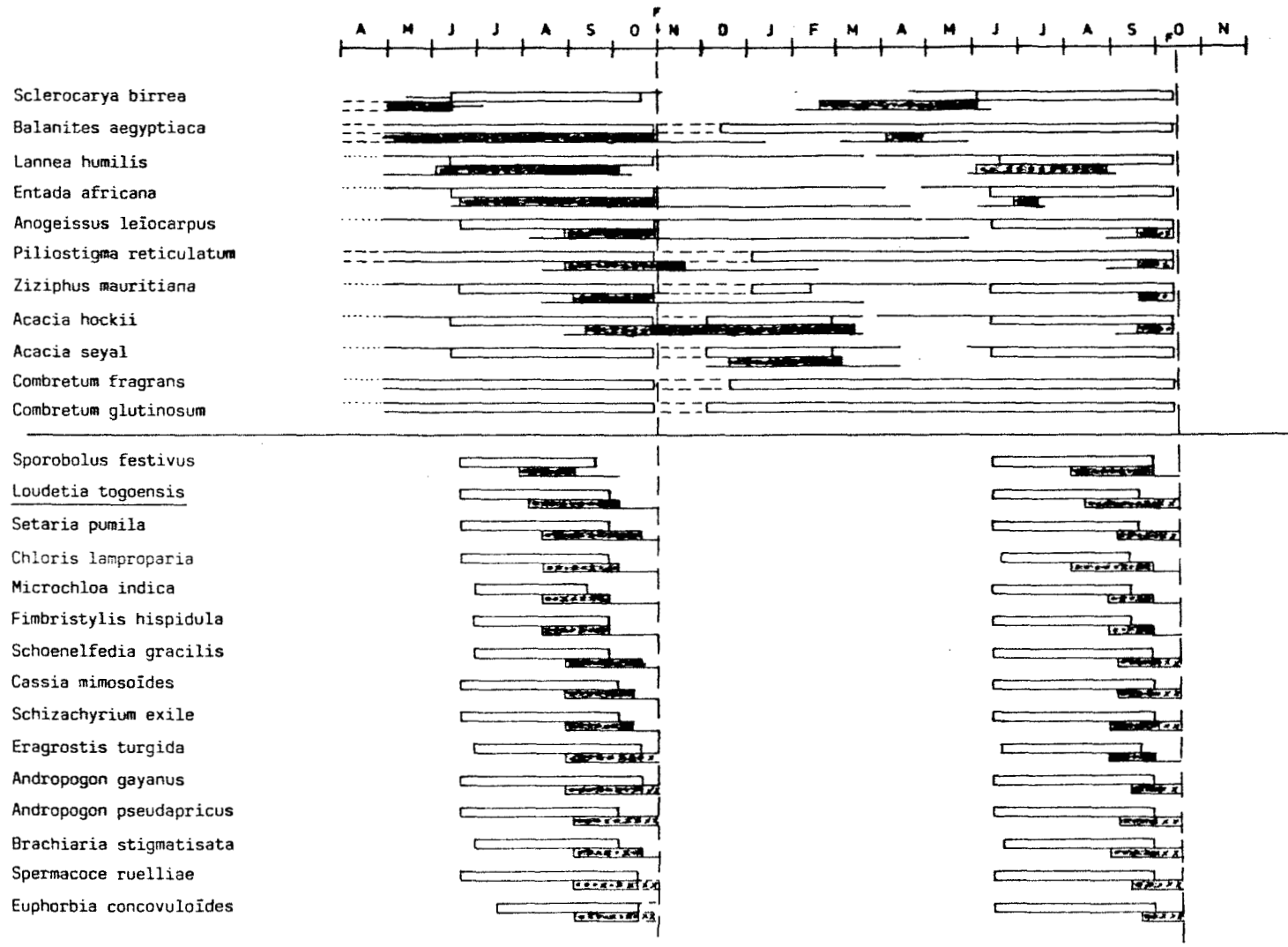


Fig. 5. CYCLE DE VIE DES PRINCIPALES ESPECES LIGNEUSES ET HERBACEES SUR VERTISOL
 (Légende voir fig. 4)

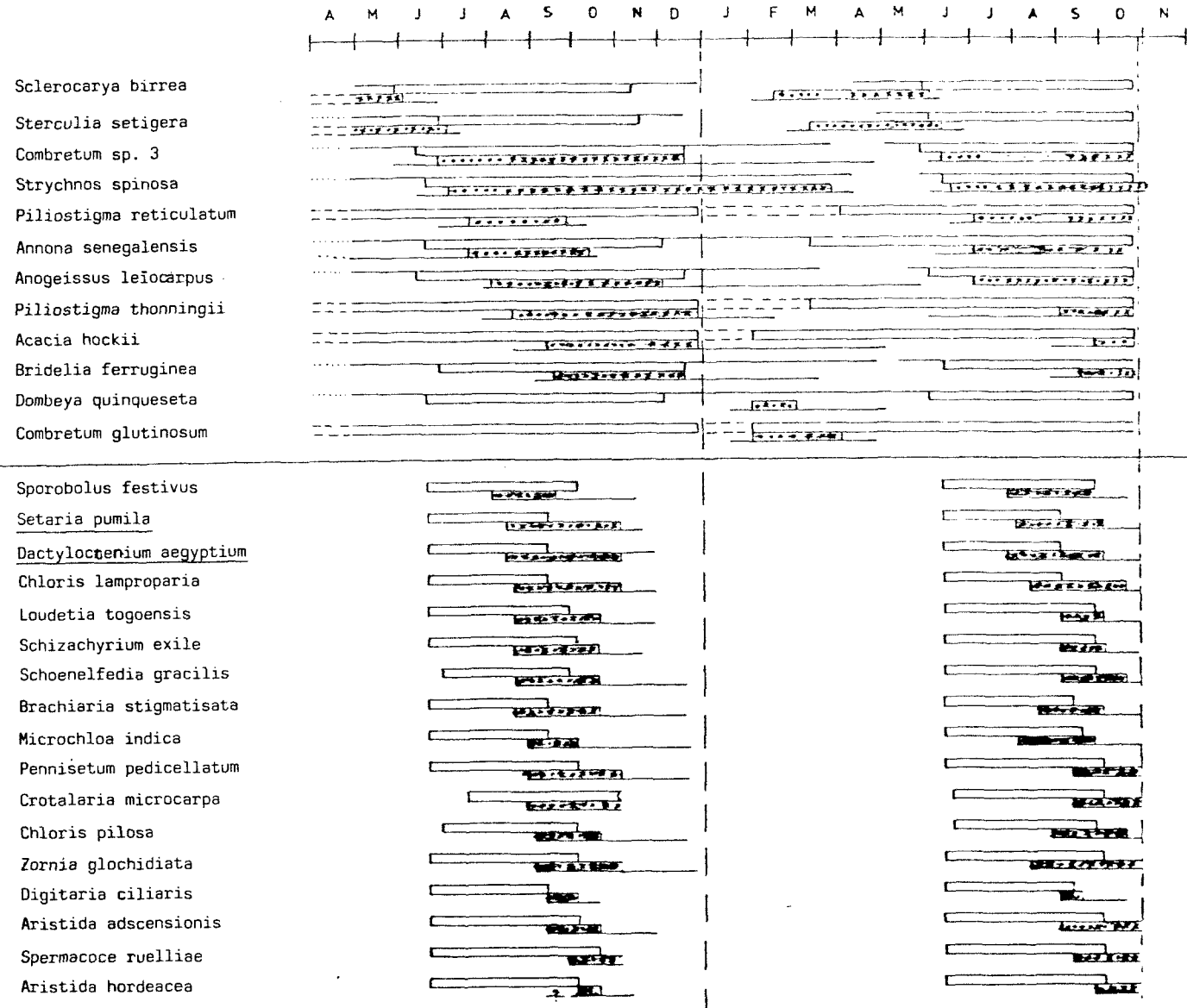


Fig 6. CYCLE DE VIE DES PRINCIPALES ESPECES LIGNEUSES ET HERBACEES SUR SOL FERRUGINEUX
(Légende voir fig 4)

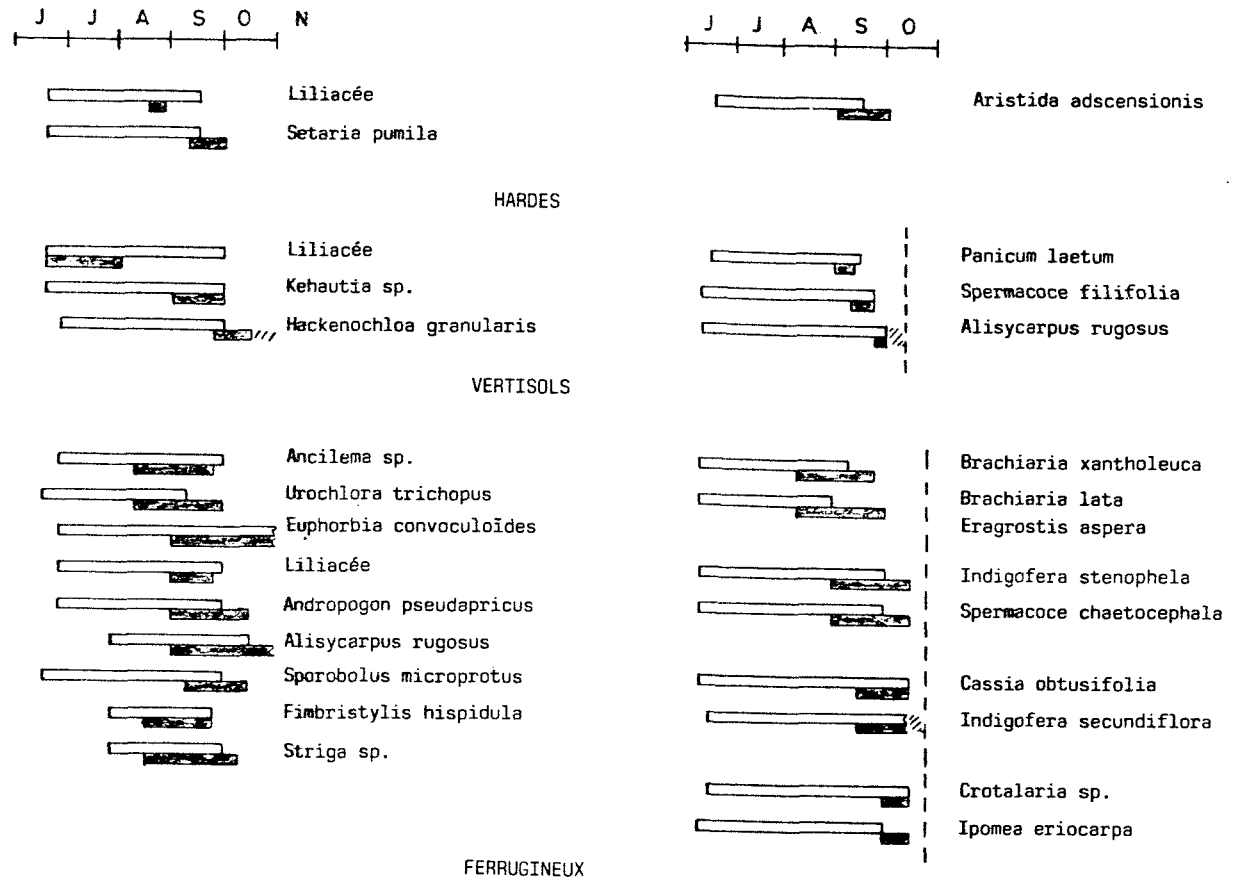


Fig.7_ CYCLE DE VIE DES ESPECES PRESENTES 1 ANNEE SEULEMENT SUR CHAQUE STATION OBSERVEE EN CONDITIONS NATURELLES (Légende voir fig.4)

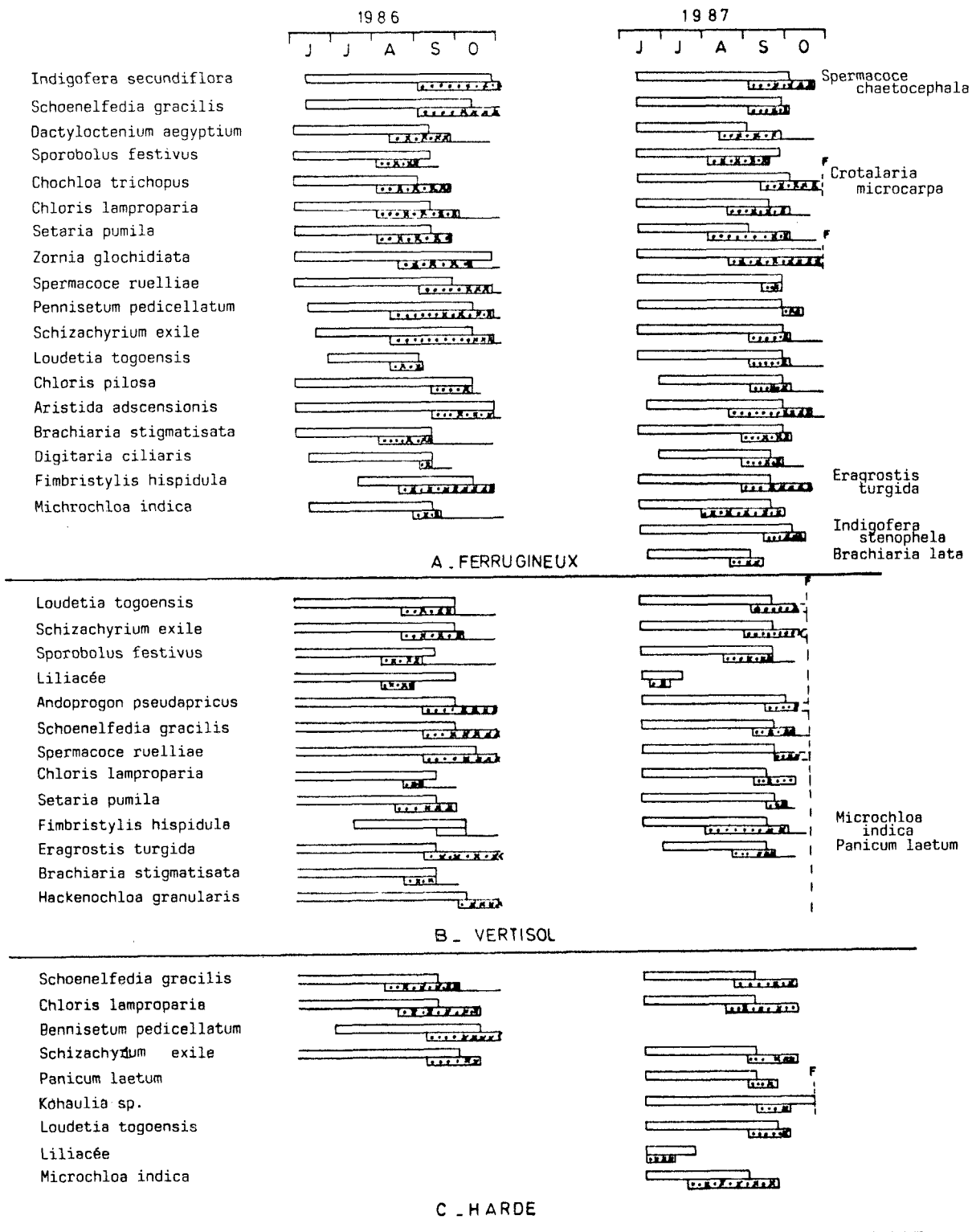


Fig. 8 - CYCLE DE VIE DES ESPECES HERBACEES PRESENTES SUR LES PLACETTES ARROSEES

{ Légende voir fig. 4 }

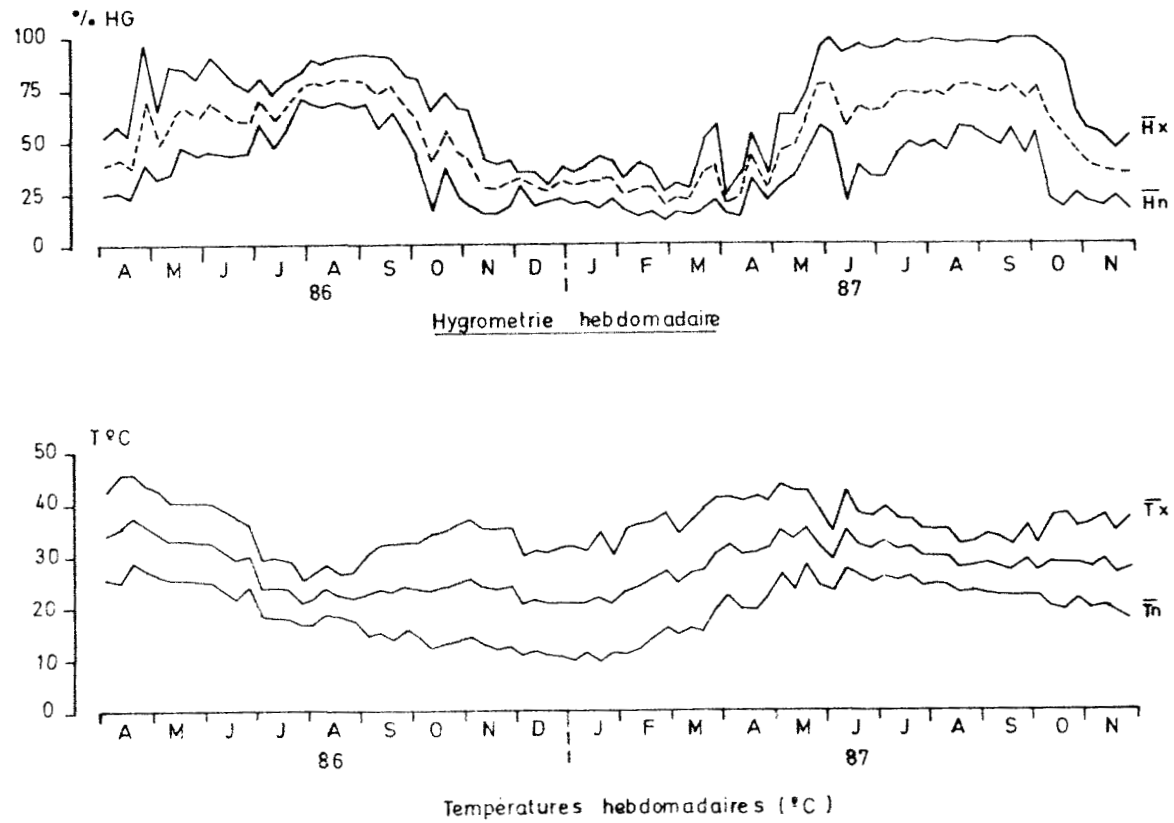


Fig.9 - Evolution de l'hygrometrie et des temperatures (station IRA Maroia - Djarengol) au cours de la période d'étude

Fig. 10 - Evolution de la réserve en eau du sol et pluviométrie
(1986-1987) Harde'

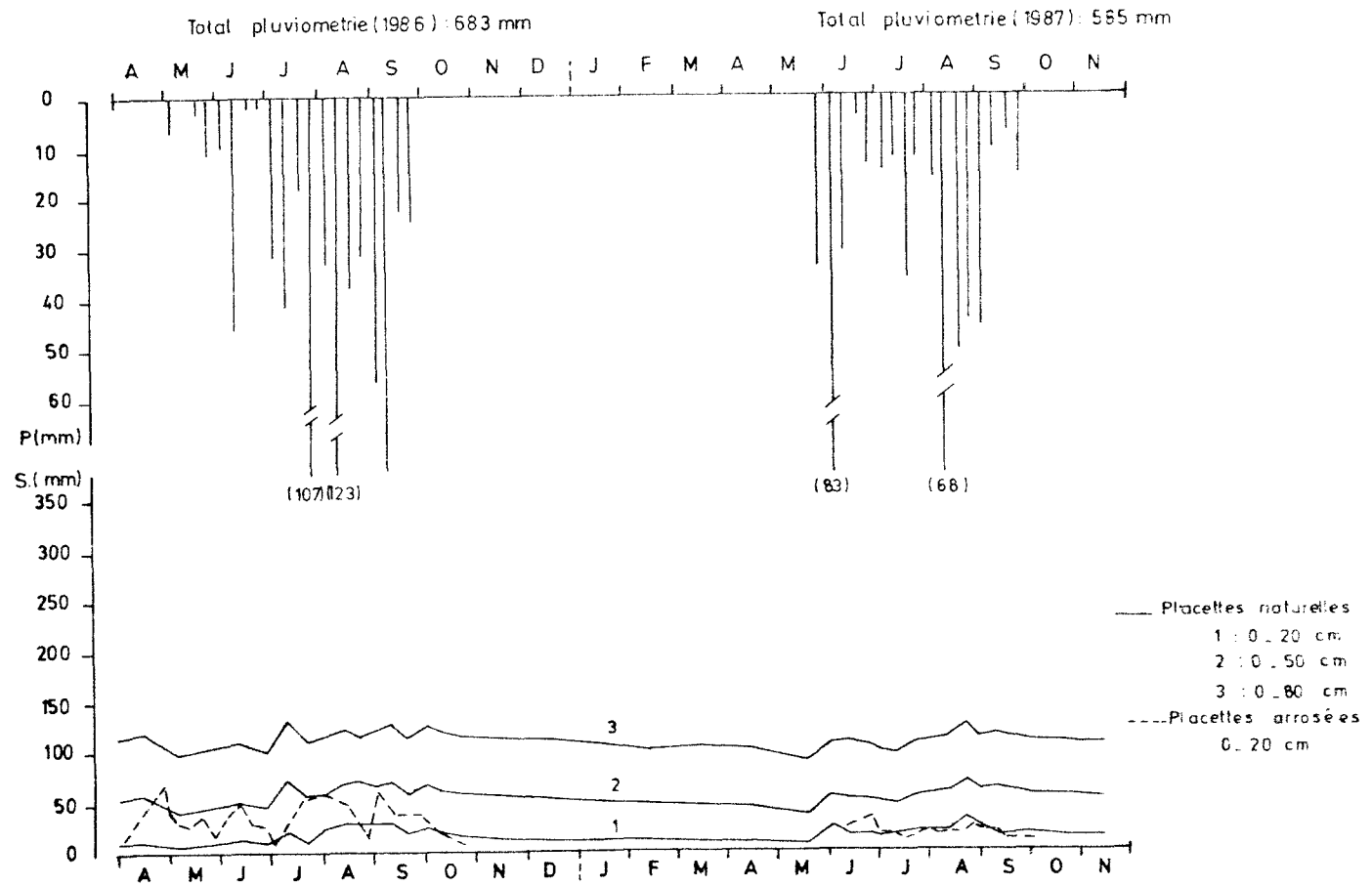


Fig.11 - Evolution de la réserve en eau du sol et pluviométrie
(1986_1987) Vertisol

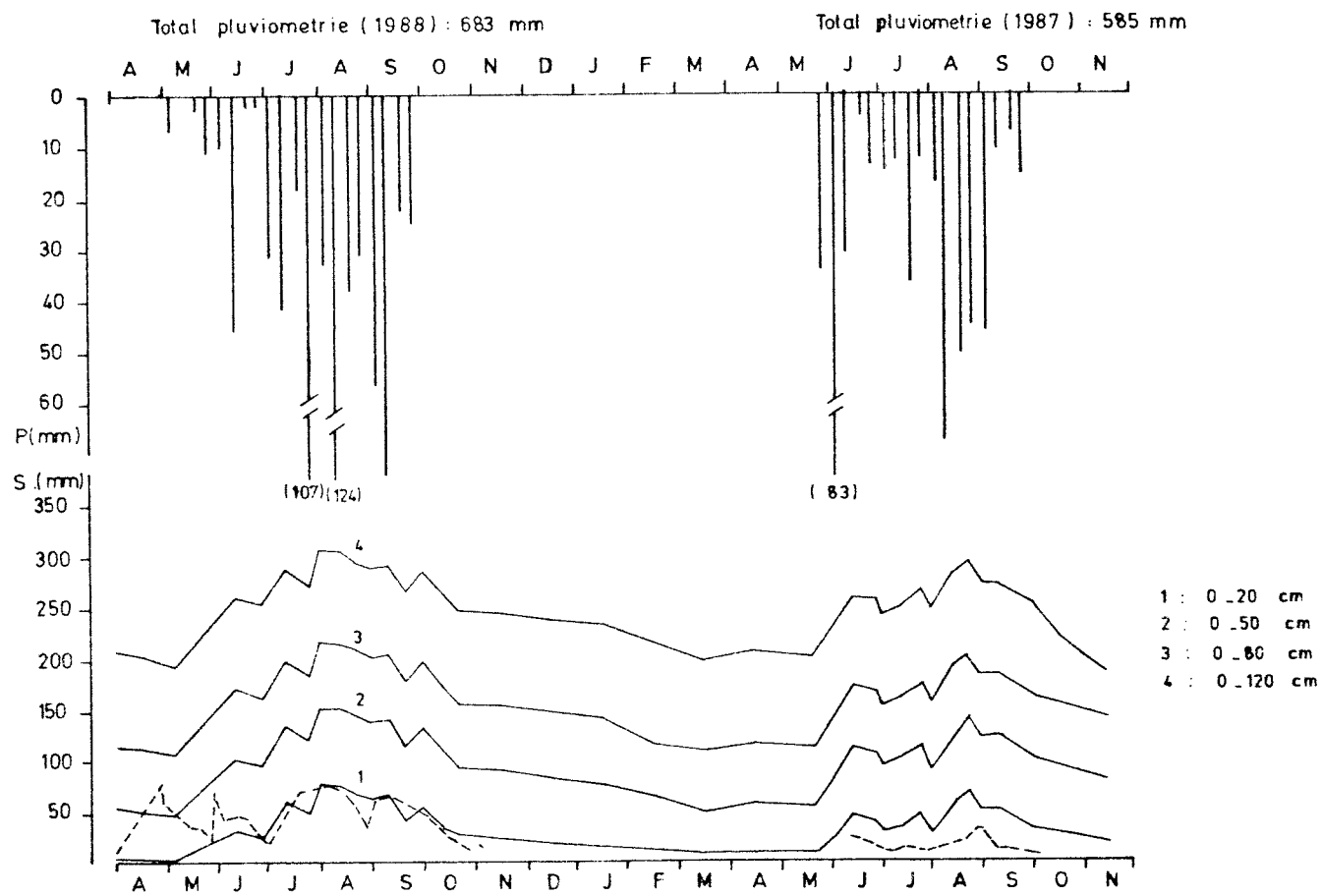
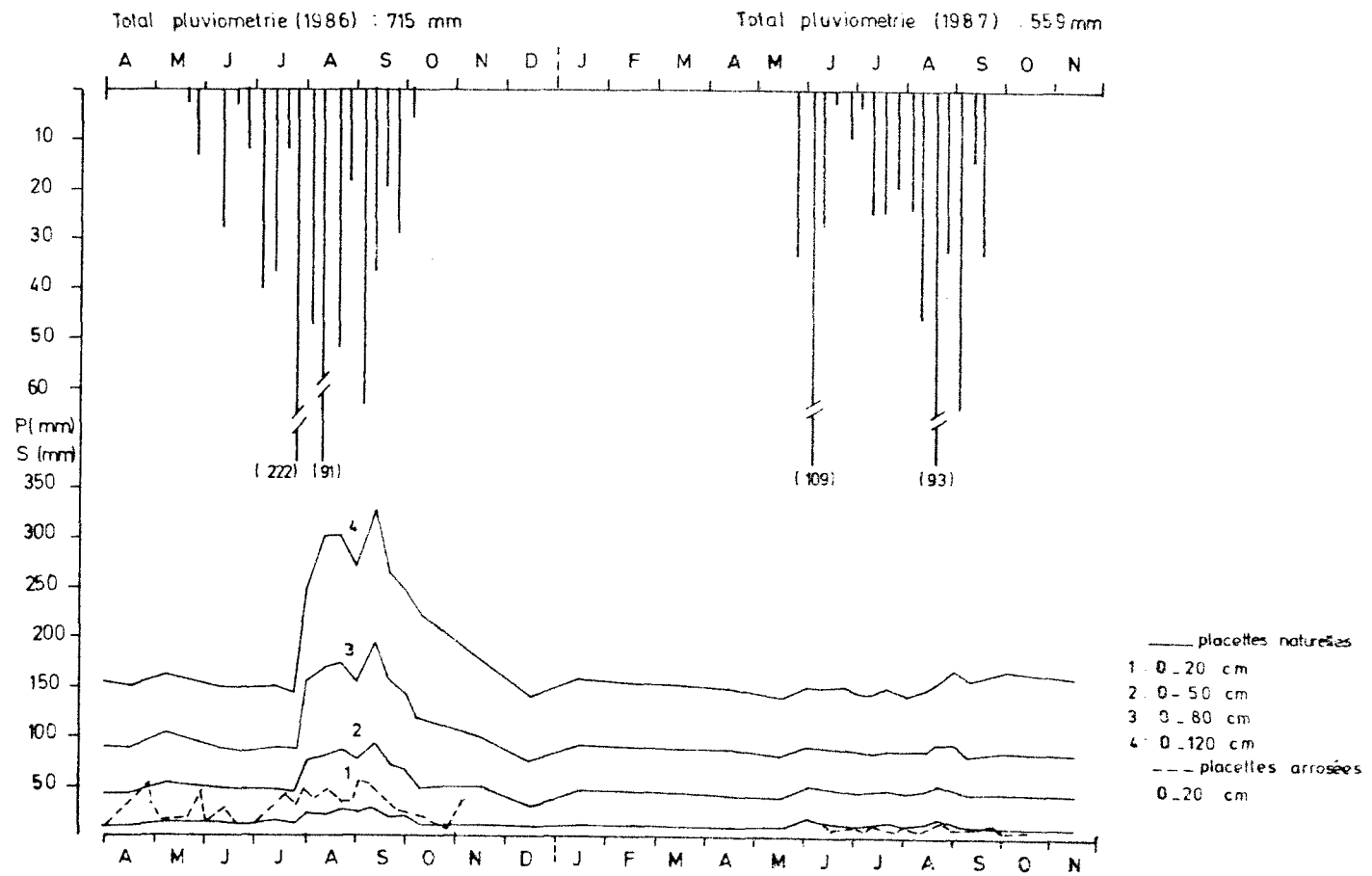


Fig.12 - Evolution de la réserve en eau du sol et pluviosité
(1986-1987) Ferrugineux



Enfin, la variabilité interannuelle et l'influence de différents régimes hydriques (placettes arrosées) sur la phénologie des espèces, ou groupe d'espèces, sont analysées.

Pour finir, l'influence d'autres facteurs pouvant intervenir sur les rythmes phénologiques de la végétation et sur la sélection naturelle des espèces est discutée.

4.4.1 Identification des différents types de comportement

Un fait remarquable apparaît (figures 4, 5 et 6), c'est la différence marquée qui existe entre la variété de stratégies phénologiques adoptées par les ligneux et l'homogénéité de comportement de la végétation herbacée.

4.4.1.1 Les ligneux

Deux types de rythme photosynthétique apparaissent : les espèces toujours en feuilles tout au long de l'année et les espèces passant plusieurs mois sans activité photosynthétique.

On peut distinguer aussi, en simplifiant, un groupe d'espèces à reproduction en saison sèche et un autre à reproduction en saison des pluies. Le dernier peut être subdivisé en 4 sous-groupes relatifs à la période à laquelle débute la floraison.

a) le cycle photosynthétique

Les ligneux sempervirents

Pour ces espèces, la chute complète des feuilles n'est due qu'au passage du feu. Il s'agit de :

- Balanites aegyptiaca*
- Piliostigma reticulatum*
- Piliostigma thonningii*
- Combretum glutinosum*
- Combretum fragrans*

Une bonne résistance aux perturbations : en cas d'incendie, ce groupe d'espèces recommence son activité photosynthétique un à trois mois après le passage du feu ; grâce à cette possibilité de reverdissement rapide, elles présentent une forte résistance à son action, mais également à d'autres perturbations du milieu, notamment anthropiques (ébranchage, pâturage, abattage...).

Une des réponses les plus générales aux dommages causés par le feu, ou par tout autre traumatisme est de constituer des rejets à partir de la souche initiale. C'est le cas de la plupart des espèces de la région (*Acacia ssp...*) ; mais

l'avantage des espèces de ce groupe est la possibilité de rejeter, même en saison la plus défavorable. Les autres espèces ligneuses étudiées doivent attendre la saison des pluies, afin que la quantité d'eau disponible soit suffisante, pour leur permettre de rejeter.

Enfin, leur fort pouvoir de rejeter à partir des souches qui n'ont pu être éliminées par la culture fait que les **Pilostigma ssp.** et les **Combretum ssp.** sont les premiers ligneux à réapparaître sur les jachères. Ils représentent les espèces pionnières de la reconstitution d'une strate ligneuse sur les terrains de culture abandonnés.

.Stratégie et avantages : ce groupe d'espèces accuse un jaunissement partiel de son feuillage et une baisse du couvert foliaire à partir de décembre-janvier, la réduction du feuillage étant maximale en mars-avril. Au moment de la saison des pluies, l'arbre est à nouveau entièrement vert. En début de saison sèche, des feuilles peuvent prendre une teinte brunâtre, indiquant la sénescence.

MONASTERIO et SARMIENTO (1976) expliquent la stratégie de ce type de comportement : l'avantage en est que la réduction chastique de la surface foliaire d'un individu, simultanément à la croissance de la sécheresse, favorise un meilleur équilibre du budget hydrique. Peu après le début de la saison sèche, les feuilles commencent à tomber progressivement ; le phénomène peut se prolonger durant toute la saison sèche. Certains individus observés à Mouda ne retrouvent un feuillage entièrement vert qu'en mai-juin. Dans le même temps, et tout aussi progressivement, de nouvelles feuilles commencent à se développer. Ainsi la surface foliaire totale et la biomasse des arbres décroissent pendant cette saison. Quand les pluies arrivent, toute croissance cesse ; il n'y a pas de nouvelles feuilles formées et les feuilles immatures ne poursuivent pas leur développement jusqu'à une taille adulte. Durant toute la saison des pluies, le feuillage reste vert et son contenu chlorophyllien atteint alors un maximum.

Les plantes utilisent de cette façon toute la saison humide pour maximiser leur gain de carbone grâce à un système assimilateur bien développé à ce moment-là ; le renouvellement du système est laissé pour une période moins favorable au moment où, de toutes manières, l'intensité de la photosynthèse est plus faible en raison des difficultés croissantes pour obtenir de l'eau.

.Des adaptations morphologiques : à l'état adulte, les feuilles des **Pilostigma ssp.** et de **Balanites aegyptiaca** deviennent coriaces ; ce sont des sclérophylles qui s'assurent ainsi une bonne protection contre la dessiccation en saison sèche. WALTER (1971) décrit les caractéristiques physiologiques des sclérophylles et leurs avantages : elles maintiennent leurs échanges gazeux, durant les périodes sèches, aussi longtemps que possible et se contentent de les diminuer temporairement. Elles peuvent réduire leur transpiration, pendant les périodes dangereuses, beaucoup plus efficacement que les autres, en fermant les stomates. Enfin, elles développeraient un système

racinaire important au détriment de la croissance du système aérien ; mais les réserves accumulées dans les racines lors de la saison des pluies leur permettent souvent de se maintenir toute l'année.

Pourtant, le caractère sclérophylle n'est pas obligatoire pour les espèces sempervirentes de la savane de Mouda. En effet, aucun *Combretum* *ssp.* du groupe ne possède ces caractéristiques morphologiques et cependant ils n'en demeurent pas moins verts toute l'année.

Les ligneux décidus vrais

Ce sont la majorité des ligneux du bassin-versant.

.L'initiation foliaire : la plupart initient leur feuillaison en saison des pluies, les plus précoces fin mai, ce qui correspond à la période d'hygrométrie maximale. La seule exception est *Annona senegalensis* que nous avons vu mettre ses feuilles dès février la deuxième année, après le passage du feu. Ce dernier pourrait être le facteur responsable d'une telle précocité en levant les dormances occurrentes.

Il n'existe pas d'échelonnement dans l'épanouissement du feuillage. Le stade juvénile peut durer quelques semaines à deux mois ; puis, aux premières pluies, on assiste à une explosion du feuillage et il n'y a pas de nouvelles feuilles formées par la suite.

Le problème du facteur déterminant l'initiation foliaire n'est pas clarifié. La détermination pourrait être aussi bien d'origine intrinsèque (endogène) que sous l'influence de facteurs climatiques ou photopériodiques. L'hygrométrie serait le déclencheur principal de la feuillaison pour la majorité des espèces de la région. On assiste en effet à une remontée de l'humidité atmosphérique avant la saison des pluies (figure 9).

.La défoliation : les feuilles jaunissent, ou bien en fin de saison des pluies, ou bien quelques semaines après le début de la saison sèche (figure 4, 5 et 6). A l'exception de quatre espèces : *Acacia gerrardii*, *Acacia hockii*, *Ziziphus mauritiana* et *Acacia seyal*, qui présentent l'avantage d'une période photosynthétique plus longue que les autres, les feuilles ne meurent pas après fin novembre-début décembre, soit deux mois seulement après le début de la saison sèche. C'est la période où les écarts de température s'accroissent et la température moyenne baisse (figure 9), l'hygrométrie décroît, les pluies ont cessé et le stock d'eau du sol diminue. Le facteur déterminant la chute des feuilles serait la baisse de la réserve en eau du sol. En effet, des parcelles arrosées régulièrement durant la saison sèche, montrent un feuillage persistant des arbres qui les occupent (com. verb. forestiers de Maroua).

.influence du feu : le feu joue un rôle déterminant dans la fin de la feuillaison. Après son passage, il n'y a pas de réinitiation foliaire avant la saison des pluies suivantes. On note quatre exceptions : *Acacia hockii*, *Annona senegalensis*,

Ziziphus mauritiana et *Acacia seyal* dont l'avantage compétitif est déterminé par une capacité de refeuillaison rapide après le passage du feu. On remarquera que pour *A. hockii* et *A. seyal*, sur vertisols, tout se passe comme si le regain de feuilles, durant deux à trois mois seulement, avait lieu juste pour permettre la réalisation d'un cycle reproductif.

On a constaté que beaucoup d'espèces gardent les feuilles brûlées longtemps sur les branches (le phénomène est spectaculaire sur *Bridelia ferruginea* qui reste toute la saison sèche couvert d'un feuillage mort).

.Adaptation morphologique : les espèces de ce groupe ne montrent pas une sclérophylle marquée mais présentent, pour la plupart des caractères xérophiles : port d'épines (*Acacia* ssp., *Ziziphus mauritiana*, *Dichrostachys cinerea*, *Strychnos spinosa*), ou des feuilles et troncs gorgés d'eau présentant une tendance assez marquée vers la crassulescence (*Lanea humilis*, lequel constitue une des rares espèces ligneuses à subsister sur les "hardés" les plus dégradés).

Néanmoins, là encore, ce n'est pas une généralité absolue puisque des familles comme les Combrétacées, des espèces comme *Sterculia setigera*, *Sclerocarya birrea*, *Entada africana*, *Anogeissus leiocarpus*, *Bridelia ferruginea* ou *Dombeya quinqueseta*, ne présentent aucun de ces caractères et sont, pourtant, très communs dans la région.

Le port d'épines en tant que caractère d'adaptation à la sécheresse peut être discuté. En effet la dominance des épineux en savanes soudano-sahéliennes peut aussi être en relation directe avec la pression du bétail, très forte dans ces régions. Certaines espèces qui arrivent à se développer possèdent des épines pour se protéger contre cette agression. Le facteur climatique intervient donc indirectement, dans la mesure où il est responsable d'une production végétale faible qui rend la pression animale plus agressive.

.Les avantages de leur stratégie : ces arbres ont pour stratégie d'échapper à la sécheresse en entrant dans une phase de dormance végétative pouvant aller jusqu'à plus de sept mois (*S. setigera* et *S. birrea* sur "hardé") durant la saison défavorable.

Ils assimileraient des réserves plus efficacement que les autres, en saison pluvieuse. Ils pourraient ainsi utiliser ces réserves abondantes pour démarrer leur croissance et leur feuillaison, avant même l'arrivée de la période favorable (le bourgeonnement foliaire s'effectue avant les premières pluies). Leur système racinaire, très développé en surface, leur permet d'exploiter rapidement l'eau disponible dès les premières pluies. Leur faculté de bien assimiler le carbone, durant la saison où l'eau n'est pas limitante, rendrait possible le stockage de réserves dans les parties ligneuses, d'où leur plus grande disponibilité. Elles assureraient ainsi un élan rapide de la feuillaison même en période de stress hydrique (MONASTERIO et SARMIENTO, 1976).

b) Le cycle reproductif

On observe un échelonnement dans le temps de la phase reproductive des ligneux. Il n'y a pas un seul mois de l'année qui ne soit marqué par l'activité de l'un ou l'autre de ces espèces ligneuses. Cependant, sur certains types de sol, quelques espèces n'ont jamais fleuri durant les vingt mois d'étude. Il s'agit de :

- *Acacia seyal* et *Sclerocarya birrea* sur "hardé"
- *Combretum fragrans* et *Combretum glutinosum* sur verti-sols.

Sauf peut-être pour *C. fragrans*, pour lequel nous n'avons aucune référence, ces exceptions concernent des espèces dont le cycle reproductif se situe en pleine saison sèche (entre décembre et avril) sur les autres types de sol. Elles appartiennent donc à un groupe particulier nécessitant suffisamment d'eau disponible dans le sol ou les racines.

-Cycle reproductif en saison sèche (décembre à avril)

Appartiennent à ce groupe :

- Sterculia setigera* (1)
- Sclerocarya birrea*
- Acacia seyal*
- Balanites aegyptiaca*
- Dombeya quinqueseta*
- Combretum glutinosum*.

.La stratégie : à première vue, la stratégie de ces espèces peut paraître surprenante. Les individus, au moment où le cycle reproductif s'amorce, sont soit dépourvus complètement de matériel photosynthétique, soit pourvus très partiellement. Ce comportement nécessiterait, a priori, la disponibilité d'une source d'eau au moment du cycle ; or, les profils racinaires effectués sur chaque station montrent un système souterrain dominant ou même exclusif (*Lannea humilis* sur "hardé") qui ne descend pas en dessous de soixante centimètres de profondeur. En revanche, les racines se prolongent très loin du pied (5 à 10 mètres) grâce à des extensions individuelles dans la couche superficielle du sol ; il y a chevauchement des zones exploitées par des individus même aussi éloignés que sur les "hardés". Les racines semblent rencontrer un obstacle majeur dans la compacité du sol lors de leur progression en profondeur. Des parcelles forestières (EYOG MATIG, 1982) soumises à des sous-solages de profondeurs différentes ont montré, dans tous les cas, une progression du

(1) Le retard de la floraison de *S.setigera* sur "hardé" sera discuté dans le chapitre sur la variabilité entre les sites. C'est un cas particulier à notre station sur "hardé". La reproduction de la majorité des individus de cette espèce se déroule en saison sèche dans la région. C'est pourquoi nous l'avons classé dans ce groupe.

système racinaire des arbres jusqu'à la limite inférieure du sous-solage.

Ce n'est donc pas un prélèvement en profondeur qui, dans la majorité des cas pallie la difficulté que rencontrent ces ligneux pour s'approvisionner en eau en saison sèche. En revanche, les profils racinaires ont révélé l'existence d'organes de réserve (*Lannea humilis*). KEMP (1983) mentionne également que beaucoup d'arbustes de la zone soudano-sahélienne possèdent des organes de stockage de l'eau.

Le développement des feuilles, la floraison et d'autres événements phénologiques impliqueraient alors un transfert du matériel stocké, en réponse à des signaux de l'environnement, tels que la variation de l'hygrométrie, de la durée du jour (photopériodisme). Il y aurait donc une restitution des réserves des parties souterraines aux parties aériennes, qui permettrait aux individus d'amorcer une floraison en saison sèche.

La plupart de ces espèces commencent leur cycle au moment où l'hygrométrie atmosphérique et les températures sont minimales sauf *B. aegyptiaca* qui préfère une période de remontée hydrique et de températures élevées.

.Avantages de la stratégie : l'avantage compétitif de ces espèces est qu'elles utilisent toute la saison des pluies pour maximiser l'acquisition de réserves grâce à une activité photosynthétique intense, laissant la reproduction pour une période moins favorable. De plus, elles évitent les dommages causés par le feu, et assurent donc leur descendance. En effet, un certain nombre d'espèces, se reproduisant en saison des pluies, ont systématiquement leurs fleurs ou leurs fruits immatures, brûlés par les feux d'octobre. Pour ces espèces, la reproduction végétative demeure le seul moyen de se maintenir et de se propager.

-Cycle reproductif en saison des pluies

C'est le comportement dominant des ligneux du bassin de Mouda. Si des variations existent dans la date précise d'initiation des cycles suivant les espèces, cette catégorie renferme toutes celles dont le début de la floraison se situe entre juin et septembre.

.Initiation florale en début de saison des pluies : mai-juin à début juillet :

Les espèces répondant à ce critère sont :

- Strychnos spinosa*
- Acacia senegal*
- Lannea humilis*
- Entada africana*
- Combretum sp.*

La stratégie : elles utilisent toute l'eau disponible en saison des pluies pour à la fois photosynthétiser et se reproduire. L'apparition des fleurs suit ou précède de très peu l'apparition des feuilles, et l'hypothèse qu'il puisse exister une relation étroite entre les deux événements n'est pas à écarter. L'initiation florale correspond au moment où l'hygrométrie remonte de façon notable, où les écarts de température sont minimums et où la température moyenne commence à baisser.

L'induction florale de ce groupe d'espèces devrait être déclenchée par des facteurs autres que la disponibilité en eau du milieu, photopériodisme par exemple. En effet, à cette époque, même si quelques précipitations (rarement importantes) sont tombées, d'une part il s'agit d'une période très aléatoire quant à la quantité d'eau précipitée, d'autre part les pluies n'ont pas suffi à recharger les réserves en eau du sol.

Là encore, les réserves emmagasinées dans les racines permettraient la restitution de ressources suffisantes pour initier à la fois la feuillaison et la floraison et les entretenir jusqu'à ce que le stock d'eau du sol se reconstitue pleinement (juillet-août). Les ligneux peuvent alors renflouer leurs réserves durant toute la saison où l'eau abonde.

L'avantage : l'avantage d'une floraison précoce est la probabilité plus grande de réaliser le cycle reproductif en entier avant le passage du feu.

.Initiation florale en fin de saison des pluies : fin août-septembre.

Elles concernent :

- Ptilostigma thonningii*
- Acacia hockii*
- Ziziphus mauritiana*
- Bridelia ferruginea*.

La stratégie : ces espèces assurent d'abord une activité photosynthétique importante avant de se reproduire. Il se passe plusieurs mois entre le début de la feuillaison et celui de la floraison ; cette dernière commence juste avant la chute du stock d'eau dans le sol, l'augmentation des écarts de température et la chute de l'hygrométrie. Elles profitent de toute la saison des pluies pour photosynthétiser et se pourvoir en réserves qu'elles peuvent éventuellement stocker. Puis, juste avant que les conditions ne deviennent défavorables, elles initient leur cycle reproducteur dont la majorité se situe en saison sèche.

L'avantage : la phase reproductrice est garantie par l'acquisition préalable de ressources importantes. Les fruits ou graines étant disséminés en saison sèche, ils ne courent pas le risque d'être la proie de parasites ou de prédateurs indésirables. Leur comportement est assez proche des espèces dont la reproduction se situe en saison sèche mais elles

courent le risque de ne pouvoir achever leur cycle avant le passage du feu.

Floraison initiée en pleine saison des pluies : juillet-août.

C'est le cas de :

- Anogeissus leiocarpus*
- Acacia gerrardii*
- Dichrostachys cinerea*
- Piliostigma reticulatum*
- Annona senegalensis*.

La stratégie : les espèces réalisent leur cycle de vie au moment où la recharge en eau du sol est à son maximum et y restera encore quelques temps.

Avantages : juillet et août étant toujours les mois les plus arrosés, elles assurent leur reproduction en conditions optimales, évitant les incertitudes qui pèsent sur la disponibilité en eau du milieu au début et en fin de saison. Elles prennent le minimum de risques.

Annona senegalensis mérite une attention particulière. Très répandu en zone soudano-guinéenne (AUDRE, 1977), sa floraison est bien plus précoce en savane de Lamto (CESAR et MENAUT - 1979) interprètent cette précocité comme une réponse de l'espèce à son envahissement par les herbes ; il fleurit avant d'être recouvert par les graminées qui se développent pendant la grande saison des pluies (mars à juillet). A Mouda, huit individus sur les dix étiquetés ont présenté des bourgeons floraux en mars-avril, qui ont séché avant de se développer.

Les floraisons avortées pourraient être le résidu d'un cycle originel, plus précoce que le cycle actuel, qui se réalisait sous un climat autrefois moins sec. La population en place à Mouda serait alors un phénotype non achevé (c'est-à-dire ayant gardé la potentialité de fleurir en mars) adapté aux conditions de sécheresses actuelles, plus rigoureuses. Compte tenu du fait qu'un suivi phénologique doit se poursuivre plus de deux ans pour révéler la logique du fonctionnement d'une espèce, nous ne disposons pas d'un assez long suivi pour confirmer cette hypothèse. Cependant, elle est renforcée par le fait que, dans la région, un certain nombre d'espèces caractéristiques de climat plus arrosé (soudanien) se maintiennent par voie végétative, mais ne se reproduisent presque plus à l'heure actuelle. N'étant plus adaptées aux conditions, elles finiront sans doute par disparaître à l'occasion d'années de sécheresse exceptionnelle. Ce fut le cas d'*Anogeissus leiocarpus*, dans la région de Waza (plus au nord), il y a quelques années. Les espèces qui ont une chance de subsister sont celles qui sont capables de modifier leur cycle de vie comme *A. senegalensis*.

4.4.1.2 Les herbacées

L'homogénéité que l'on peut constater en ce qui concerne la période d'activité des herbacées (figures 4, 5 et 6), rend difficile un classement rigoureux des espèces. Nous présenterons tout d'abord les caractéristiques globales de cette végétation ; puis, une classification des espèces relativement à la période de début de floraison, qui apparaît comme le critère le plus spécifique.

a) Caractéristiques de la végétation herbacée

L'uniformité du comportement concerne aussi bien les graminées annuelles (majoritaires, tableau 8) que les rares graminées pérennes ou les latifoliées.

Des espèces éphémères

.Leur germination et leur développement végétatif est très rapide. Dès que le sol s'humidifie sur quelques centimètres de profondeur, un départ brusque des germinations a lieu compte tenu de la température élevée qui règne au début de la saison des pluies (fig. 9) ADAM (1957) généralise ce comportement à la majorité des plantes de la zone sahélo-soudanienne.

.Elles bouclent la totalité de leur cycle de vie en quatre mois maximum. WALTER (1971) qualifie ces espèces d'espèces éphémères. La période d'activité photosynthétique s'étend de juin à septembre avec une prolongation possible jusqu'en octobre pour quelques latifoliées (*Crotalaria sp.*, *Spermacoce ruelliae*, *Cassia sp.*, *Zornia glochidiata*, *Indigofera sp.*), et plus rarement, quelques graminées : *Andropogon gayanus*, *Eragrostis turgida*. L'activité optimale est concentrée sur la pleine saison des pluies : juillet-août, quand l'eau n'est pas limitante. Leur structure végétative est achevée en un mois et demi.

.A partir de cette date, les parties végétatives commencent à sécher mais la majorité de la plante reste verte. Le dessèchement devient suffisamment important pour limiter la photosynthèse, environ deux mois après la germination. Un mois et demi à trois mois après la germination, elles fleurissent (d'août à septembre).

La maturité des fruits se fait souvent sur des plantes sèches. La population peut attendre plus de sept mois, sous forme de graines dans le sol que les conditions redeviennent favorables à la germination, pour au moins une partie d'entre elles. Ce sont les espèces "arido-passives" par excellence (EVENARI et al., 1976).

Une stratégie "r"

Ces espèces représentent un exemple extrême de stratégie "r" en maximisant les production de graines. L'allocation d'énergie pour la reproduction est très élevée. Certaines espèces refont un deuxième cycle, voire un troisième, jusqu'à ce que le manque d'eau dessèche les organes en développement.

C'est le cas spectaculaire de *Chloris lamproparia* qui, en début de saison sèche (octobre), porte encore des inflorescences en montaison, à la base d'un chaume principal complètement sec. A cette époque, la plupart de ces inflorescences sèchent avant l'épiaison. Le même phénomène se rencontre de façon plus discrète sur, par exemple, *Dactyloctenium aegyptium*, *Setaria pumila*, *Brachiaria* spp.

Pour les autres, comme *Schoenelfedia gracilis*, *Loudetia togoensis*, *Schisachyrium exile*, etc., la variabilité interindividuelle fait que le cycle de l'individu est en réalité beaucoup plus court que celui de la population.

On a constaté aussi que de petites plantes n'atteignant pas la taille moyenne de la majorité de la population, se reproduisaient (*Setaria pumila* sur vertisol, *Aristida adsensionis* sur "hardé",...). Ce sont en général des espèces les plus dominées d'une station donnée, ou des espèces se développant dans des conditions de sécheresse édaphique intense. Cette stratégie est des plus opportunistes. Si les plantes meurent tôt, elles auront quand même produit un minimum de graines ; mais d'un autre côté, si elles ont la possibilité d'une saison de croissance plus longue, elles sont également capables de l'exploiter et en produiront davantage (HARPER, 1977). Elles présentent la meilleure adaptation qui soit à l'aspect aléatoire des conditions climatiques et édaphiques locales.

Une dominance écrasante d'annuelles

.La dominance de graminées annuelles est extrêmement marquée (cf. tableau 8). *Andropogon gayanus*, qui est, partout ailleurs sous ce type de climat, une espèce pérenne, présenterait même une forme annuelle dans la savane du Nord-Cameroun (VANDERZON, com. verb.)

Seulement 3 graminées pérennes se rencontrent sur l'ensemble des placettes : *Sporobolus festivus*, *Tripogon minimus*, *Sporobolus microprotus*.

La majorité des plantes à feuilles larges sont également des annuelles sur les placettes. Seules les Liliacées qui ressurgissent, chaque année, les premières en début de saison des pluies et qui fleurissent très rapidement, conservent une partie végétative en saison sèche (bulbe).

.Cette dominance des annuelles n'est pas surprenante dans une région surexploitée, présentant des conditions de sécheresse édaphique importante durant presque toute l'année ("hardé") et des habitats "instables", aux fluctuations saisonnières considérables, comme les vertisols (gorgés d'eau en surface en saison des pluies, parfois inondés, et complètement secs en saison sèche). FLORET et PONTANIER (1982) constatent dans la zone aride de Tunisie, que "plus un système est influencé par l'homme, plus les thérophytes y prennent de l'importance". Dans le Llanos vénézuélien (MONASTERIO et SARMIENTO, 1976), les annuelles sont également bien représentées dans les flores d'habitats perturbés, dans les

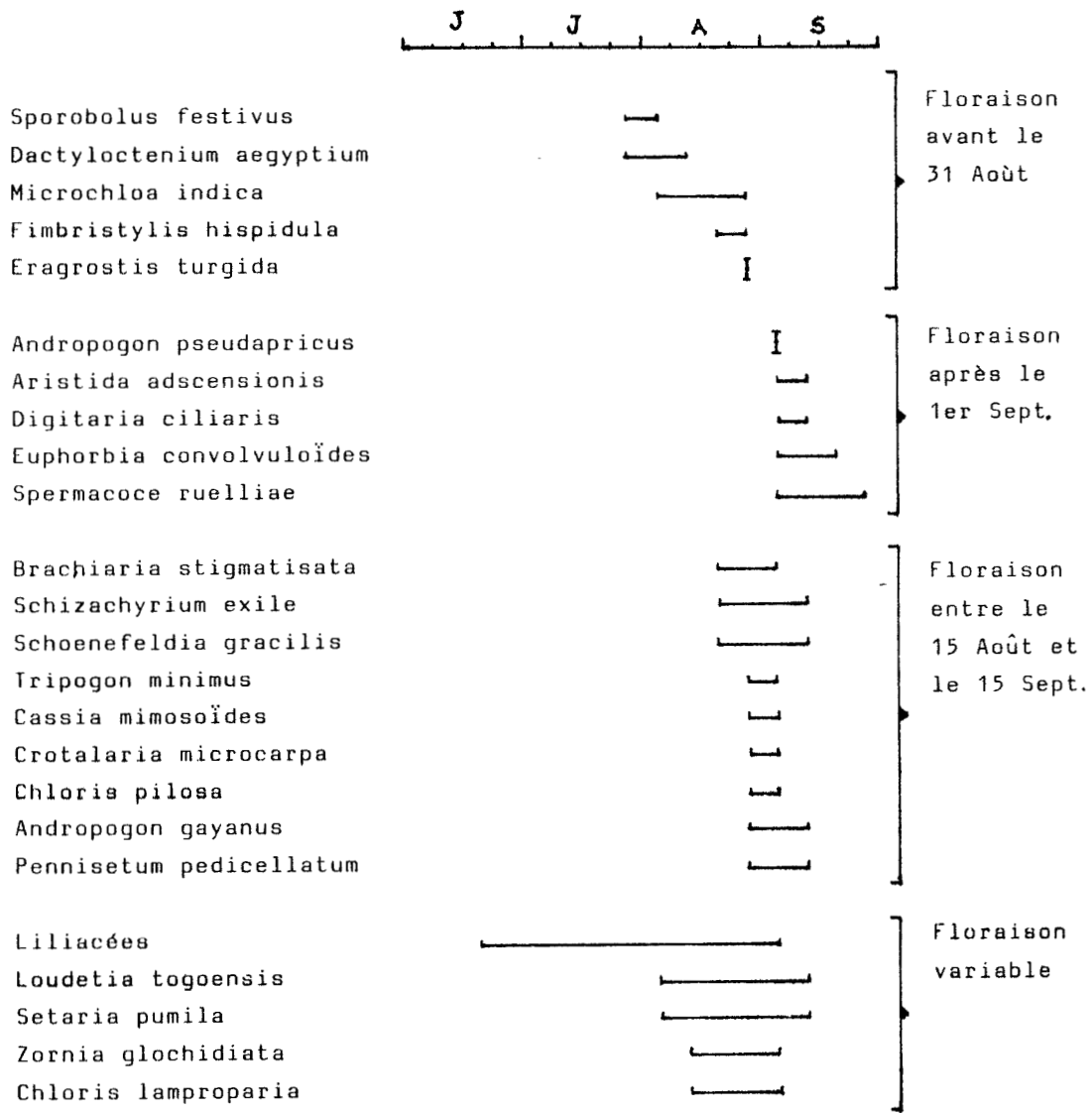


FIG.13: Intervalles observés pour la date de début de floraison de quelques espèces herbacées sur l'ensemble des trois sites et au cours des deux années.

sites les plus secs (dunes sableuses, croûtes latéritiques) et dans les zones inondées temporairement. Apparemment donc, au moins en zone aride, lorsque les "niches temporelles" durant lesquelles la croissance est possible sont très courtes (courte période d'humidification en milieu sec ; les thérophytes seraient les espèces les mieux adaptées pour les occuper.

b) Identification des comportements

On tente, dans ce paragraphe, de faire un classement des espèces herbacées relativement à leur date de début de floraison. Sachant que les différences observées, souvent faibles, nécessiteraient d'être vérifiées par l'expérimentation (phytotron par exemple) pour révéler leur signification. Par ailleurs deux ans constituent une période d'observations trop courte pour faire ressortir des différences statistiquement valables. De même, des espèces suivies sur deux ou trois types de sol seulement, ne peuvent renseigner, de manière complète, sur l'amplitude de leur niche phénologique réelle.

Seules les espèces des placettes non arrosées, qui étaient présentes durant les deux années d'étude ou au moins sur deux types de sol ont été considérées ici, car elles seules permettaient de définir un intervalle approximatif pour la date de leur floraison (figure 13).

Floraison avant le 31 août

Les espèces de ce groupe initient leur floraison dès que la recharge en eau du sol atteint son maximum. L'espérance de reproduction est maximisée par la précocité du cycle reproductif.

Floraison après le 1er septembre

Ces espèces, un peu plus tardives, allouent plus d'énergie à la production photosynthétique que les autres pendant la période la plus favorable de la saison, laissant la reproduction pour une période où l'humidité décroît, au risque de ne pouvoir l'achever à cause du passage du feu.

Floraison entre le 15 août et le 15 septembre

C'est le groupe le plus abondant sur les trois sites. Les espèces amorcent leur reproduction strictement pendant la période où le stock d'eau dans le sol est maximal. Elles optimisent ainsi l'utilisation de la ressource hydrique.

Floraison variable

Ces espèces pouvant fleurir à des dates très différentes font preuve d'une plus grande plasticité que les autres. Elles sont plus opportunistes.

Signalons toutefois que la majorité des Liliacées se reproduisent très tôt dans la saison (comme sur les vertisols, fig. 7 et 13). Dès les premières pluies elles développent leurs

feuilles d'un coup et fleurissent en même temps. Ensuite, elles peuvent rester toute la saison à l'état végétatif, ne montrant qu'une tige dont les feuilles sont tombées.

4.4.1.3 Discussion sur ces comportements

A l'issue de cette analyse, nous discuterons brièvement de deux aspects concernant la dualité ligneux-herbacées :

a) Au niveau de la succession écologique

Ce stade auquel se trouve la végétation est entretenu par une pression anthropique de plus en plus importante et régulière (feu, pâturage, exploitation agricole). Les annuelles sont adaptées au milieu à courte période de disponibilité en eau et elles semblent aussi associées de façon systématique aux perturbations anthropiques subies par l'environnement. Dans la zone soudano-sahélienne la savane devrait être essentiellement le domaine des graminées vivaces (PPS, 1982). MENAUT et CESAR (1979), MENAUT (1983), GILLON (1983), LAMOTTE et BOURLIERE (1983) et HOFFMAN (1985) le confirment. Il faut cependant qu'un feu tardif (en fin de saison sèche) ou une absence de feu, permette aux pérennes de constituer, en fin de saison des pluies, des réserves dans un système racinaire important (MENAUT et CESAR, 1979) et que le surpâturage ne les fasse pas disparaître (MENAUT, 1983). Seul le sahel type, dont la pluviométrie est comprise entre 200 et 400 millimètres par an (ce qui est loin des 750 millimètres de la région de Maroua) est dominé par des graminées annuelles. Cependant, on ne peut ignorer l'influence de la pression du bétail (cheptel important au Sahel) d'autant plus perturbante que la végétation est clairsemée et la période active de la végétation herbacée est courte (environ un mois au sahel - PPS, 1982). L'effet de la perturbation (pâturage) sur les pérennes est d'autant plus grande que la contrainte hydrique est forte. Il est certain que le surpâturage renforce considérablement la rigueur des conditions climatiques pour la végétation de ces régions. En résumé, on a donc, dans la zone d'étude, une dégradation avancée du tapis herbacé, relativement à ce qu'il devrait être sous un tel climat, à cause d'une action anthropique qui accentue fortement les effets de la sécheresse. On ne voit pas bien comment, à moyen terme, même avec une diminution de la pression, la succession pourrait conduire à un retour à un stade graminéen pérenne pour la strate basse.

Par ailleurs, on trouve sur des territoires relativement protégés comme la réserve de Zamaï (ouest de Maroua). Des unités reliques d'un milieu ayant subi des contraintes d'exploitation moins draconiennes et qui se présentent comme des savanes arborées assez fermées où les ligneux décidus et sempervirents coexistent, représentant sans doute le terme ultime de la succession écologique dans la région en l'absence de feux trop fréquents. Nous n'avons pas suffisamment étudié ces formations pour pousser plus loin l'analyse. Cependant, la différence existant entre la réponse des herbacées et la réponse des ligneux aux changements de l'environnement, suggèrent une sensibilité moins importante des ligneux aux

perturbations anthropiques. Cette idée a d'ailleurs déjà été défendue par d'autres phyto-écologues (MENAUT, 1983).

b) Au niveau de la compétition ligneux/herbacées

.De par la sévérité des conditions climatiques et édaphiques, mais aussi à cause du passage régulier du feu en début de saison sèche, les herbacées concentrent leur activité en saison des pluies.

En revanche, les ligneux ont exploité toutes les stratégies d'adaptation possibles face aux contraintes aiguës et diverses qu'ils doivent subir (sécheresse, feu, bétail, coupe ou extraction, ébranchage...). Cette diversité renforcée par la coexistence à la fois d'espèces à tendance soudanienne et d'espèces à tendance sahélienne, a pour conséquence de limiter la compétition interspécifique entre espèces ligneuses d'une part, et la compétition avec les herbacées, d'autre part.

.Le débat sur l'indépendance ou l'antagonisme des deux composants de la savane, que sont les ligneux et les herbacées, est loin d'être clos. Des phytosociologues avancent qu'une association donnée, définie seulement à partir de la strate herbacée, peut exister avec ou sans la strate ligneuse qui lui est associée généralement, inversement, qu'une communauté ligneuse donnée, peut exister en présence d'associations herbacées différentes. Suivant les circonstances, les auteurs font primer ou la strate herbacée ou la strate ligneuse dans la caractérisation des communautés végétales. D'autres tendances soutiennent qu'il existe une relation de dépendance importante entre la strate herbacée et la strate ligneuse. Elles évoquent le fait, par exemple, que la variation de la densité des ligneux induit une variation de la composition floristique, de la structure et de la biomasse globale de la strate herbacée (MENAUT, 1983). WALTER (1971), ainsi que WALKER et NOY-MEIR (1984), considèrent que les herbacées et les ligneux sont de grands compétiteurs et que leur proportion relative dépend essentiellement du budget hydrique du sol.

Les facteurs de l'environnement (climatiques, édaphiques et anthropiques) entrent en combinaison pour façonner des structures, des physionomies, des compositions floristiques, et des comportements phénologiques différents suivant les milieux où ces facteurs agissent à partir du "stock phylogénétique" d'espèces actuel.

On se propose, ci-dessous d'analyser l'influence de deux d'entre eux, le type de sol et le régime pluviométrique, sur les rythmes phénologiques des espèces végétales des trois stations qui font l'objet de cette étude.

4.4.2 Variabilité entre les sites

Dans la zone d'études, relativement réduite en surface et donc avec une pluviosité relativement homogène, on observe des groupements végétaux nettement différents. La cause principale en est la différence de disponibilité en eau et en éléments

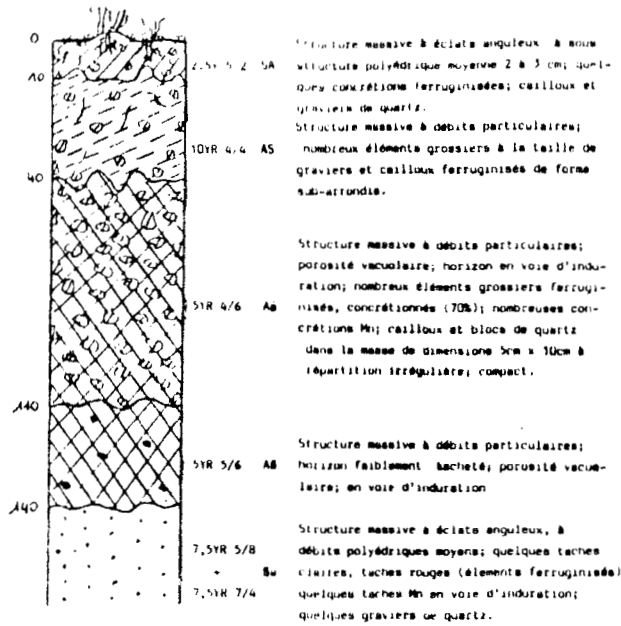
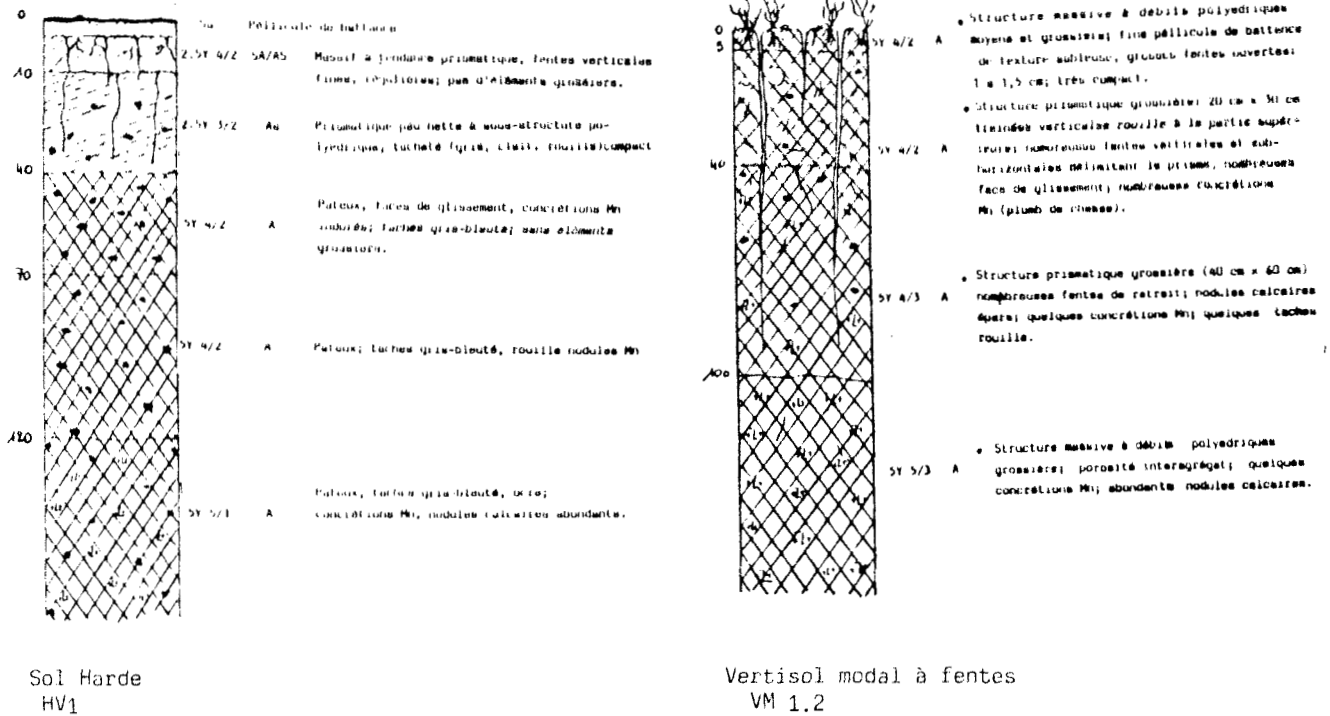


Fig. n° 14 : CARACTERISTIQUES DES SOLS DES STATIONS D'OBSERVATION DU CYCLE DE VIE DES ESPECES (MOUDA)

nutritifs suivant les types de sol sur lesquels ces groupements se développent.

Néanmoins il existe rarement un rapport fixe entre la composition floristique et leurs substrats. La variation se situe plutôt dans la différence de probabilité pour les espèces, de se trouver et de se développer sur un substrat donné. Par exemple, sur l'ensemble des placettes qui ont été suivies, *Schoenelfedia gracilis* se trouve en peuplement presque monospécifique sur "hardé" alors que sa présence est tout à fait discrète sur vertisols et ferrugineux. Par ailleurs, la plupart des autres espèces présentes sur "hardé" se retrouvent sur les autres types de sol en proportion bien plus importante. Une autre partie de l'étude concerne l'installation de ces communautés d'annuelles et les variations de structure de ces communautés, compte tenu du régime pluviométrique de l'année. Ceci n'est pas présenté ici. On tente seulement dans ce paragraphe, d'expliquer les variations intersites des rythmes phénologiques par les caractéristiques des trois types de sol étudiés dont nous trouvons figure n° 14 les principales caractéristiques.

Au moment où nous rédigeons ce rapport, l'ensemble des données concernant l'évolution des profils hydriques et notamment de l'eau disponible dans le sol pour les plantes n'est pas complètement disponible. Cette analyse sera reprise après l'élaboration de toutes les données recueillies. Nous ne présentons que des tendances très générales des premiers dépouillements des données.

4.4.2.1 Propriétés des différents substrats

Ces propriétés relatives au comportement hydrique différentiel des trois stations apparaissent sur les figures 10, 11 et 12.

Type de sol	"Hardé"-battance (sablo-limon.)	Vertisol à fentes (argileux)	Ferrugineux (sablo-argil. + cuirasse)
Strates			
Ligneuse	<i>Lannea humilis</i> <i>Acacia gerr.</i>	<i>Acacia seyal</i> <i>Piliostigma ret.</i>	<i>Combretum gl.</i> <i>Annona seneg.</i> <i>Bridelia fer.</i> <i>Anogeissus.l.</i>
Herbacée	<i>Schoenelfedia gracilis</i> <i>Microchloa ind.</i>	<i>Loudetia togo.</i> <i>Andropogon sp.</i> <i>Schizachyrium exile</i>	<i>Setaria pum.</i> <i>Dactyloctenium aegypt.</i> <i>Zornia gloch.</i>

Tableau 9 - Espèces dominantes des différentes stations

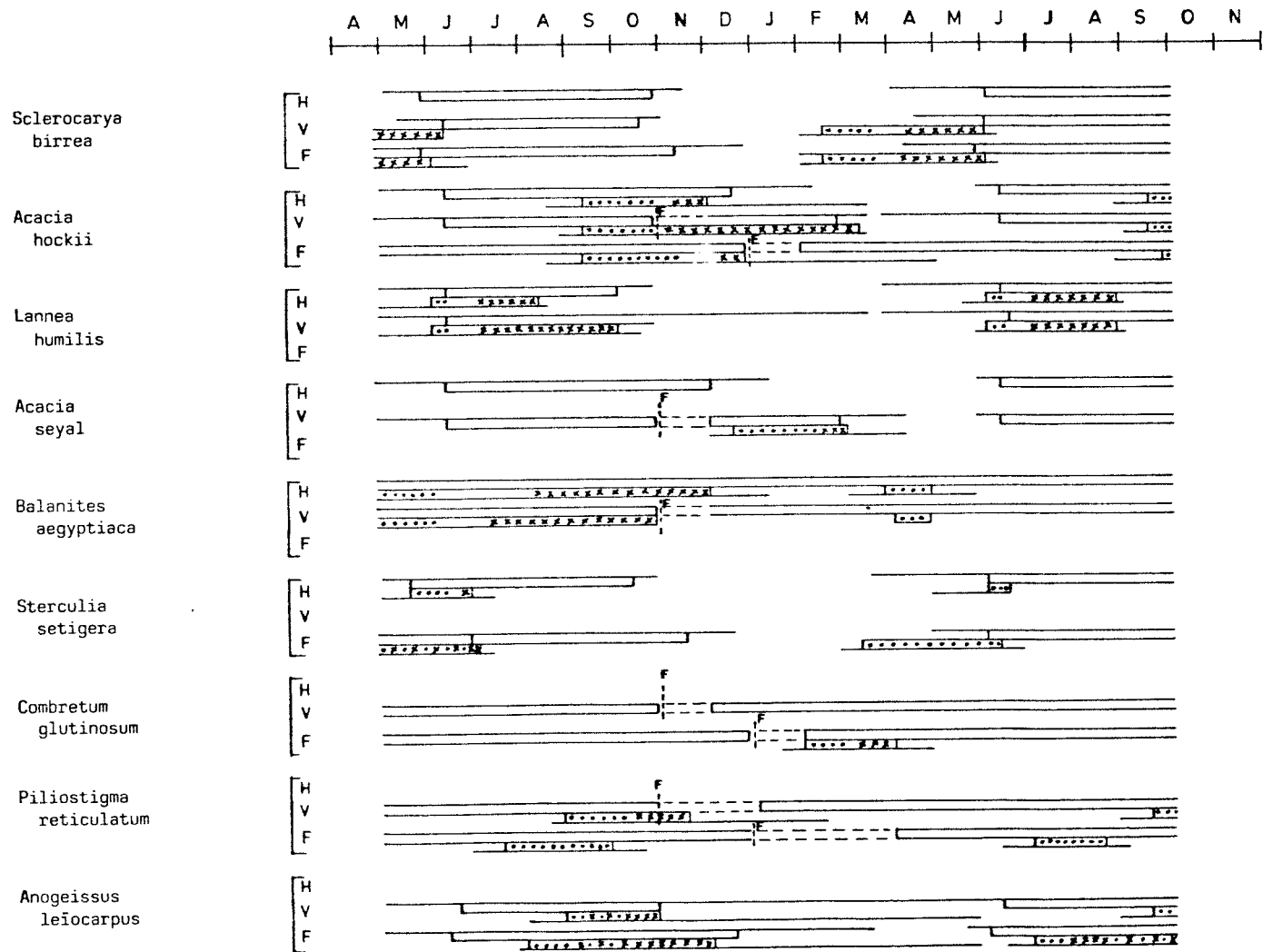


Fig. 15. VARIABILITE INTERSITES DES ESPECES LIGNEUSES

H: Hardé V: Vertisol F: Ferrugineux

a) Les ferrugineux

L'eau pénètre mieux dans les ferrugineux que dans les deux autres sols grâce à leur capacité d'infiltration plus grande ; mais cette eau est rapidement drainée et s'accumule en profondeur.

Les mois les plus favorables pour la végétation sont août et septembre. Ce type de sol est celui qui présente la diversité floristique la plus importante (comme c'est souvent le cas pour les sols sableux). La disponibilité de l'eau est plus grande dans ces sols que sur les autres grâce à leur texture sableuse. Avec une même quantité d'eau infiltrée dans le sol, la disponibilité pour la plante est en effet plus élevée sur le sable que sur limon ou argile (figure n° 3).

b) Les "hardés"

C'est sur "hardés" que l'infiltration est la plus faible et donc la variation hydrique entre la saison sèche et la saison des pluies la moins importante.

La conséquence de la formation d'une croûte peu perméable en surface est déjà dramatique au moment de la germination et de l'installation des plantules ; en outre elle freine la pénétration des radicelles dans le sol. Il s'exerce des limitations du nombre d'espèces, du nombre de graines arrivant à germer et, enfin, du nombre de plantules arrivant à se maintenir, croître et se développer. Il en résulte un couvert végétal faible et spécifiquement pauvre, constitué essentiellement de *Schoenelfedia gracilis* pour la strate herbacée, et de *Lanea humilis* pour la strate ligneuse. La végétation n'a plus l'aspect de savane mais d'une steppe herbeuse, presque unistrate, à peuplement arbustif très clair. Le maintien de *Schoenelfedia gracilis* se fait grâce à l'accumulation de leur semences à arête hydroscopique, formant de véritables coussinets, le long de tout obstacle (branches, bouses de vaches, graminées desséchées) ou des fentes du sol par ailleurs très lisses. Cette dissémination des graines permet la colonisation des plages de sol nu, même à faible densité, et favorise l'accroissement des plages de sol déjà couvertes. Cette couverture primaire permet ensuite l'installation d'autres espèces comme *Panicum laetum* en tous points où l'eau est un peu retenue superficiellement ou d'*Aristida adscensionis* dans les endroits très secs, et parfois même *Pennisetum pedicellatum* qui colonisent généralement des milieux plus riches. Durant les deux ans d'étude, le tapis herbacé a nettement progressé sur la station (mise en défens). Cependant, le pâturage entrave considérablement cette progression naturelle et favorise en dénudant le sol, la formation de la croûte de battance.

c) Les vertisols

Ce sont des sols à argiles gonflantes (montmorillonites), qui présentent de nombreuses fentes de retrait quand ils sont secs. Un apport d'eau important en début de saison des pluies fait gonfler les argiles jusqu'au colmatage des fentes. Leur capacité d'infiltration est plus limitée que celle des

ferrugineux, mais la présence des fentes l'augmente considérablement au moment des premières pluies et jusqu'à ce que les fentes disparaissent sous le gonflement de l'argile. Ceci explique que ce soit le sol qui s'humidifie le plus tôt en profondeur.

L'asphyxie temporaire de surface est certainement un facteur limitant de la diversité floristique. L'espèce herbacée qui domine est *Loudetia togoensis* (annuelle de milieux humides). Des rubiacées comme *Spermacoce ruelliae* et *Spermacoce filifolia*, plus localement, envahissent les dépressions exondées. Par ailleurs, ces sols sont plus riches en éléments nutritifs pour les espèces que les ferrugineux.

4.4.2.2 Variabilité intersite des rythmes phénologiques

Afin de comparer l'influence du type de sol sur le phénorhythme des plantes, on a considéré uniquement les espèces (ligneuses et herbacées) qui étaient présentes sur au moins deux stations.

a) Les ligneux

La figure 15 met en évidence la faible variabilité intersites du comportement phénologique des ligneux.

Période photosynthétique des décidus (2)

Globalement, toutes les espèces commencent leur croissance à peu près en même temps sur les trois sites et sur les deux années. Ceci tend à confirmer la dépendance, pour la plupart des espèces, du déclenchement de cette phase vis-à-vis d'un facteur autre que la réserve hydrique du sol. Seul *Anogeissus leiocarpus* est légèrement plus précoce sur ferrugineux que sur "hardé" pour les deux années, et serait influencé par les caractéristiques hydriques des sols.

L'activité photosynthétique semble durer plus longtemps sur ferrugineux et moins longtemps sur "hardé" (sauf pour *Sclerocarya birrea*). Si l'on considère les observations faites par le Centre de Recherches Forestières de Maroua - à savoir que de nombreux arbres, naturellement décidus, maintiennent leur feuillage tant que les parcelles qu'ils occupent sont régulièrement arrosées-, on peut conclure que la persistance plus longue du feuillage des arbres observés sur les ferrugineux est due à une plus longue disponibilité en eau dans ces sols, qui leur permet une exploitation plus tardive de cette ressource. De la même façon, la très faible quantité d'eau pénétrant dans le "hardé" est responsable d'une activité photosynthétique plus courte que sur les deux autres sols.

(2) L'activité photosynthétique des sempervirents apparaît sur les graphiques (fig. 4, 5, 6) comme continue quelque soit le type de sol, même si l'intensité varie évidemment au cours de l'année.

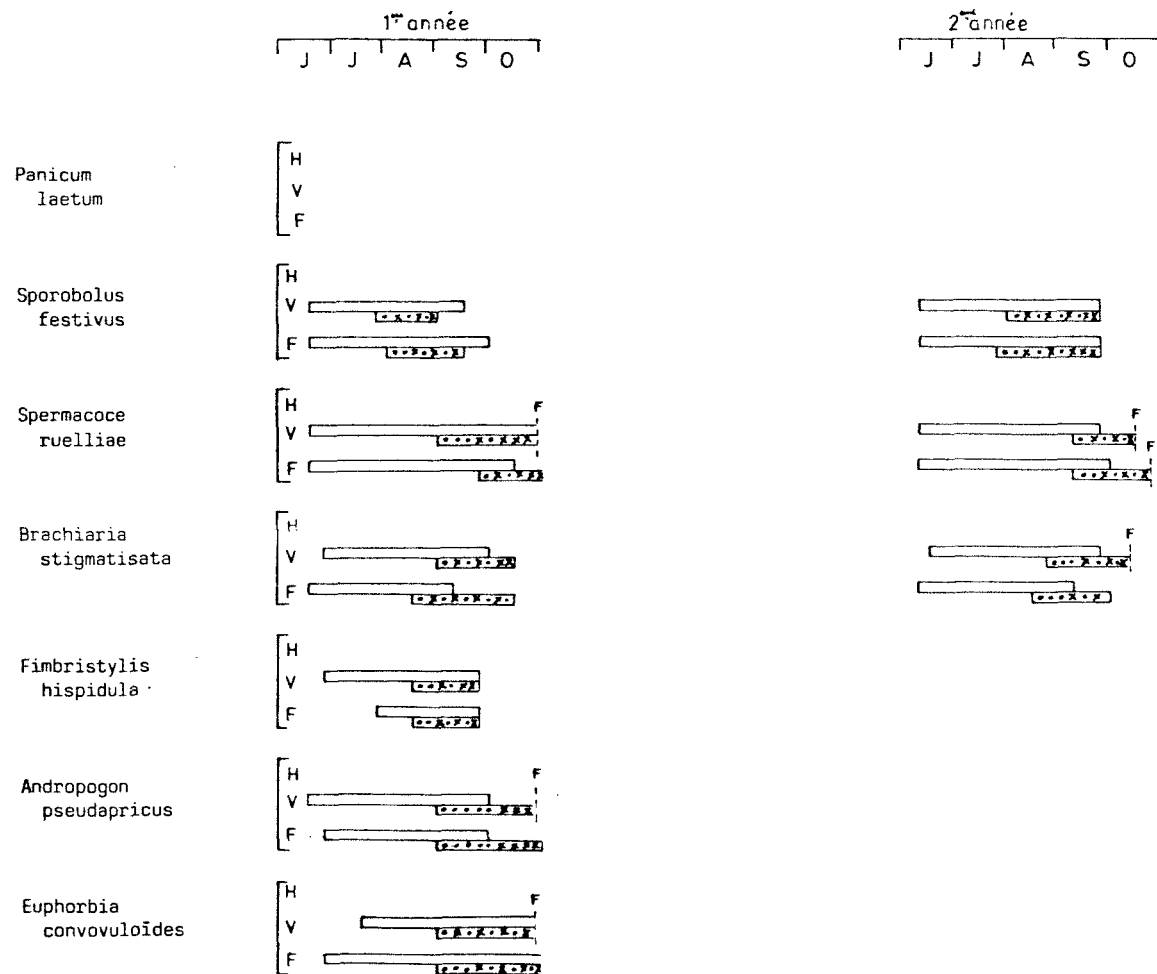


Fig. 16 - VARIABILITE INTER-SITES DES ESPECES HERBACEES (Légende voir fig 4)

H: Harde V: Vertisol F: Ferrugineux

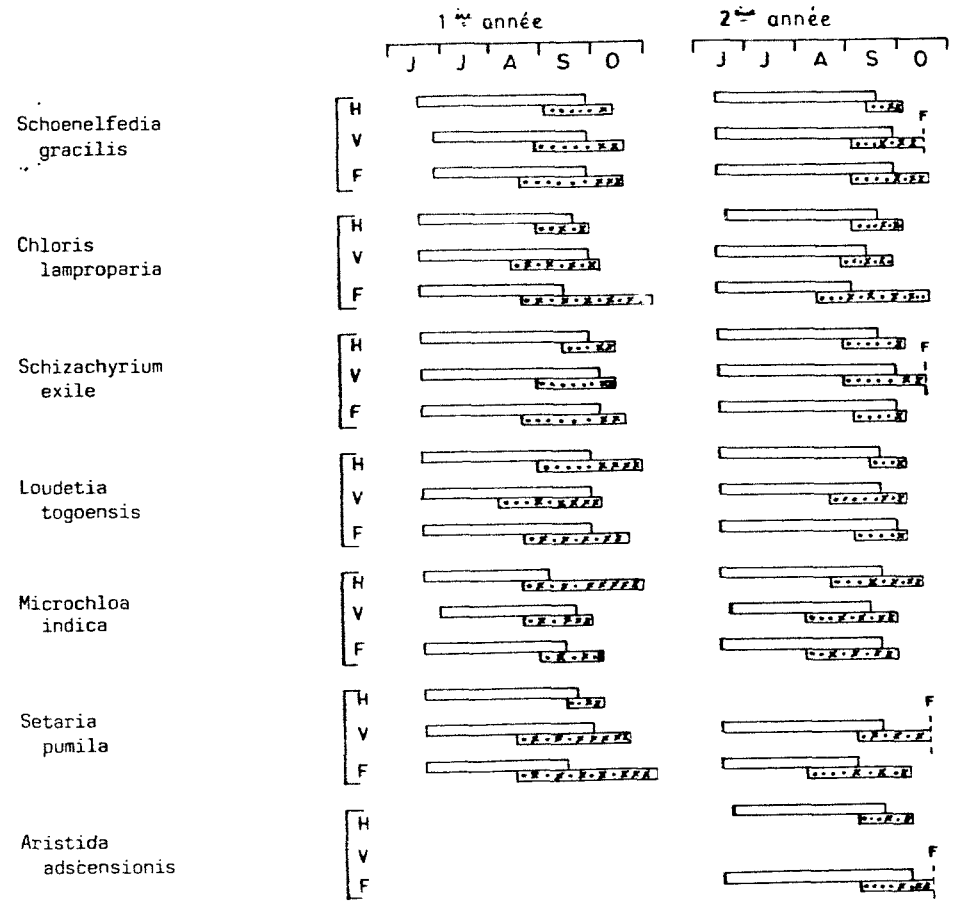


Fig. 17_ VARIABILITE INTERSITES DES ESPECES HERBACEES Légende (voir fig. 16)

Reproduction

.Quatre espèces sur neuf commencent leur floraison simultanément sur tous les types de sol qu'elles occupent. Il s'agit de *S.birrea*, *A.hockii*, *L.humilis*, *B.aegyptiaca*. Les caractéristiques hydriques des sols n'influencent donc pas l'initiation globale de ces espèces.

.Trois espèces : *P.reticulatum*, *A.lefocarpus*, *S.setigera*, ont fleuri plus précocement sur ferrugineux. Elles dépendent, pour initier leur cycle reproductif, d'un stock d'eau suffisant, lequel est disponible plus tôt sur ferrugineux.

.Enfin, n'ont pas fleuri : *S.birrea* comme *A.seyal* sur "hardé" et *C.glutinosum* sur vertisol. Or, *S.birrea* montre une initiation florale synchrone sur vertisol et sur ferrugineux ; de plus, l'initiation florale tardive de *S.setigera* sur "hardé" ne reflète pas le comportement de la majorité de la population de la région qui fleurit normalement en mars-avril. Tout porte à croire qu'au-dessous d'un certain seuil, le manque d'eau prend le pas sur tout autre facteur qui détermine, en conditions plus favorables, la floraison. Autrement dit, la quantité d'eau disponible pour la végétation peut devenir un facteur limitant, dans la mesure où il empêche l'acquisition de réserves suffisantes pour amorcer une floraison.

b) Les herbacées

La variabilité interspécifique (microtopographie par exemple) s'ajoutant aux variations des facteurs extrinsèques fait que les règles de comportement des espèces herbacées sont difficiles à identifier. Néanmoins quelques tendances apparaissent (fig. 16 et 17).

En ne considérant que les espèces présentes sur les placettes soumises à la pluviométrie naturelle, la floraison tend à être plus tardive sur les "hardés" que sur les deux autres sols.

Par ailleurs, le cycle reproductif se déroule en moyenne, plus longtemps sur ferrugineux pour la plupart des espèces, moins longtemps sur "hardé" et couvre un intervalle de temps intermédiaire sur vertisol.

La réduction très importante, relativement aux deux autres sols, de l'eau disponible dans le "hardé" explique le retard de floraison des plantes et l'écourtement du cycle reproductif.

La disponibilité plus grande de l'eau des ferrugineux permet une occurrence plus longue du cycle reproductif, en particulier pour les espèces reflleurissant tant qu'elles ne sont pas limitées par cette ressource (*Chloris lamproparia* ou *Brachiaria stigmatisata* par exemple). Pour les autres, les plantules apparaissant tardivement ont encore moins de chance d'arriver à maturité sur vertisol et sur "hardé" que sur ferrugineux.

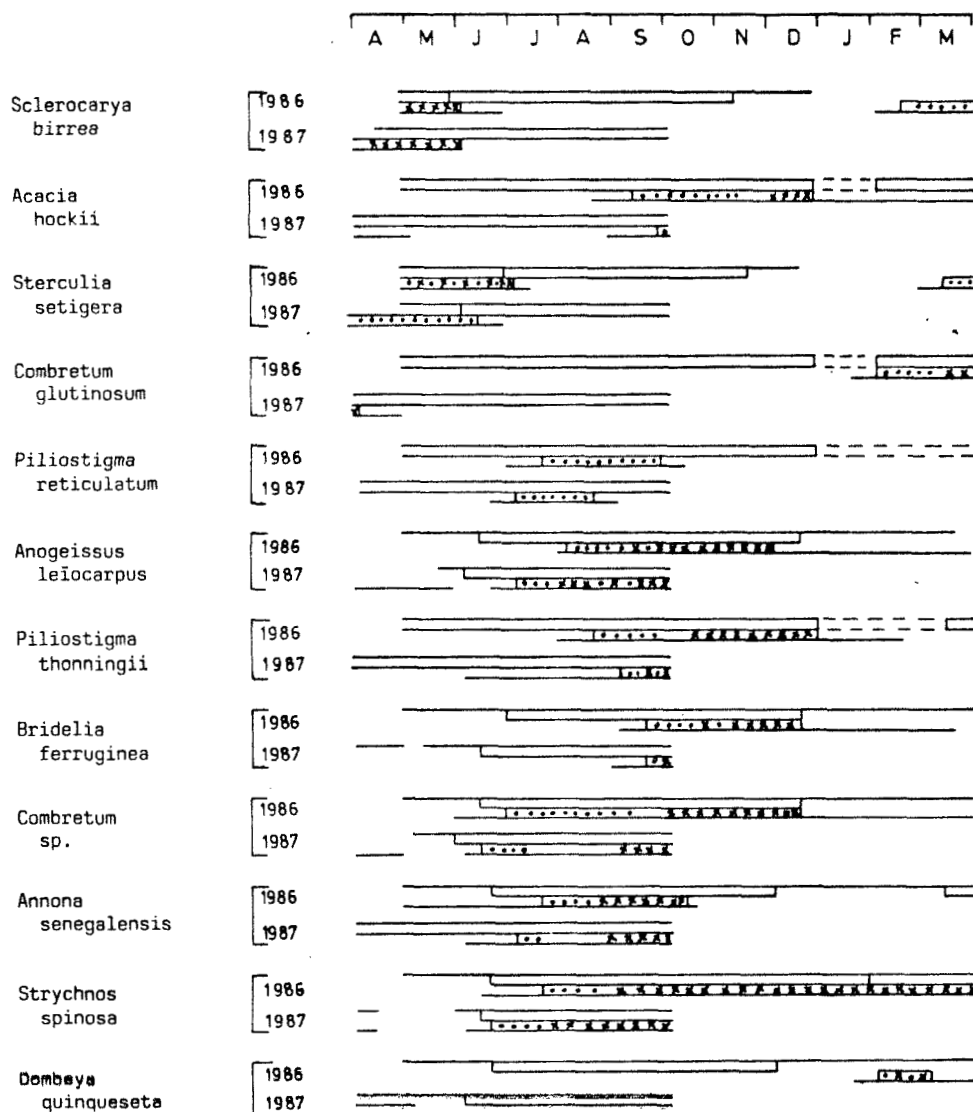


Fig. 18. VARIABILITE INTERANNUELLE DES ESPECES LIGNEUSES SUR FERRUGINEUX
(Légende voir fig. 4)

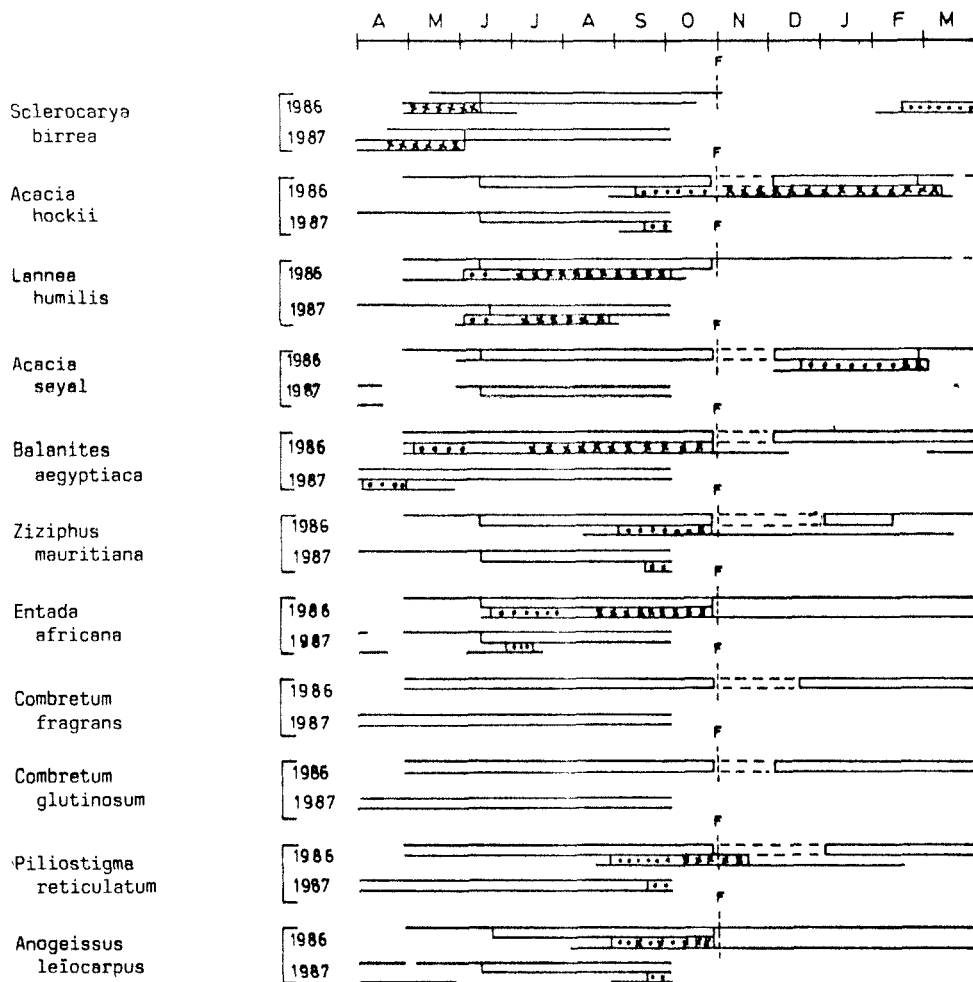


Fig. 19 - VARIABILITE INTERANNUELLE DES ESPECES LIGNEUSES SUR VERTISOL
 (Légende voir fig. 4)

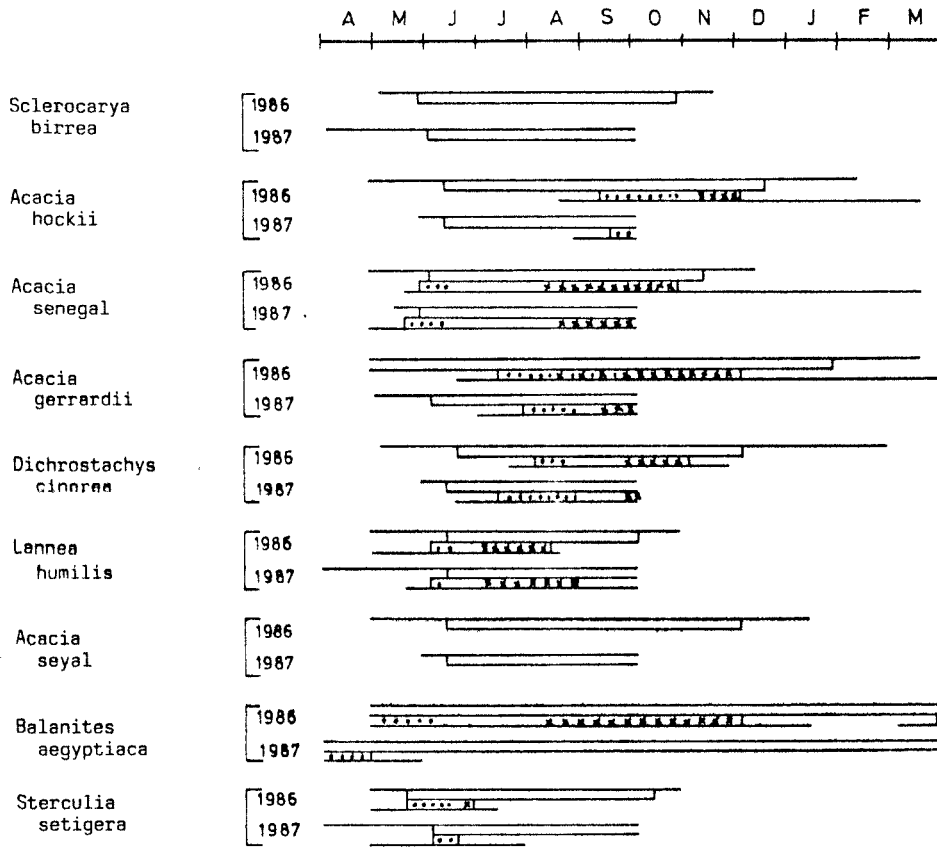


Fig. 20 - VARIABILITE INTERANNUELLE DES ESPECES LIGNEUSES SUR HARDE
 (Légende voir fig. 4)

En définitive, si la variabilité intersites du comportement phénologique est peu frappante chez les ligneux, elle prend des proportions plus importantes chez les herbacées.

Ceci est en accord avec les observations faites par de nombreux auteurs d'une plus grande sensibilité de la végétation herbacée aux éléments du milieu dans lequel elle se développe (MENAUT, 1983).

4.4.3 Variabilité interannuelle

4.4.3.1 Les ligneux

a) La feuillaison

.Elle a été, pour la majorité des espèces, plutôt précoce la deuxième année (9 espèces sur 16 comparables), (figures 18, 19, 20).

Ce résultat renforce l'hypothèse qu'un facteur, comme l'hygrométrie, est déterminant dans l'initiation foliaire de la majorité des espèces ligneuses. En effet, à partir de fin mai-début juin, la quantité d'eau atmosphérique (figure 9) était plus importante en 1987 qu'en 1986.

.Pour une minorité d'espèces : *A.hockii*, *L.humilis*, *A.senegal* et *E.africana*, l'initiation foliaire n'a que peu varié entre les deux années.

.Le retard, la deuxième année sur "hardé", d'*A.gerrardii* et de *S.setigera* peut être expliqué par la faiblesse du stock d'eau disponible. La pluie de juin 1987 n'a pas été suffisante.

b) La floraison

Le chapitre sur la variation intersites décrit les réponses des espèces ligneuses à des régimes hydriques différentes. Ces réponses varient suivant le type de sol. La floraison est en général plus précoce la deuxième année sur ferrugineux, grâce à une forte pluie, début juin, dont l'eau était accessible aux plantes ; elle est plus tardive sur vertisol à cause d'un manque de disponibilité de l'eau tombée, renforcé par un déficit pluviométrique important en juillet.

Sur les "hardés", tous les cas de figure sont représentés. On notera la précocité d'*A.senegal* et de *D.cinerea* la deuxième année. Espèces sahéliennes, elles sont plus aptes à tirer partie du moindre apport d'eau.

Deux espèces seulement, *Lannea humilis* et *Bridelia ferruginea* se comportent de la même manière au cours des deux années. Il serait intéressant de tester leur photosensibilité. Le cycle des autres espèces serait sous la dépendance du stock d'eau, avant d'être, pour certaines d'entre elles, déterminées par d'autres facteurs du milieu.

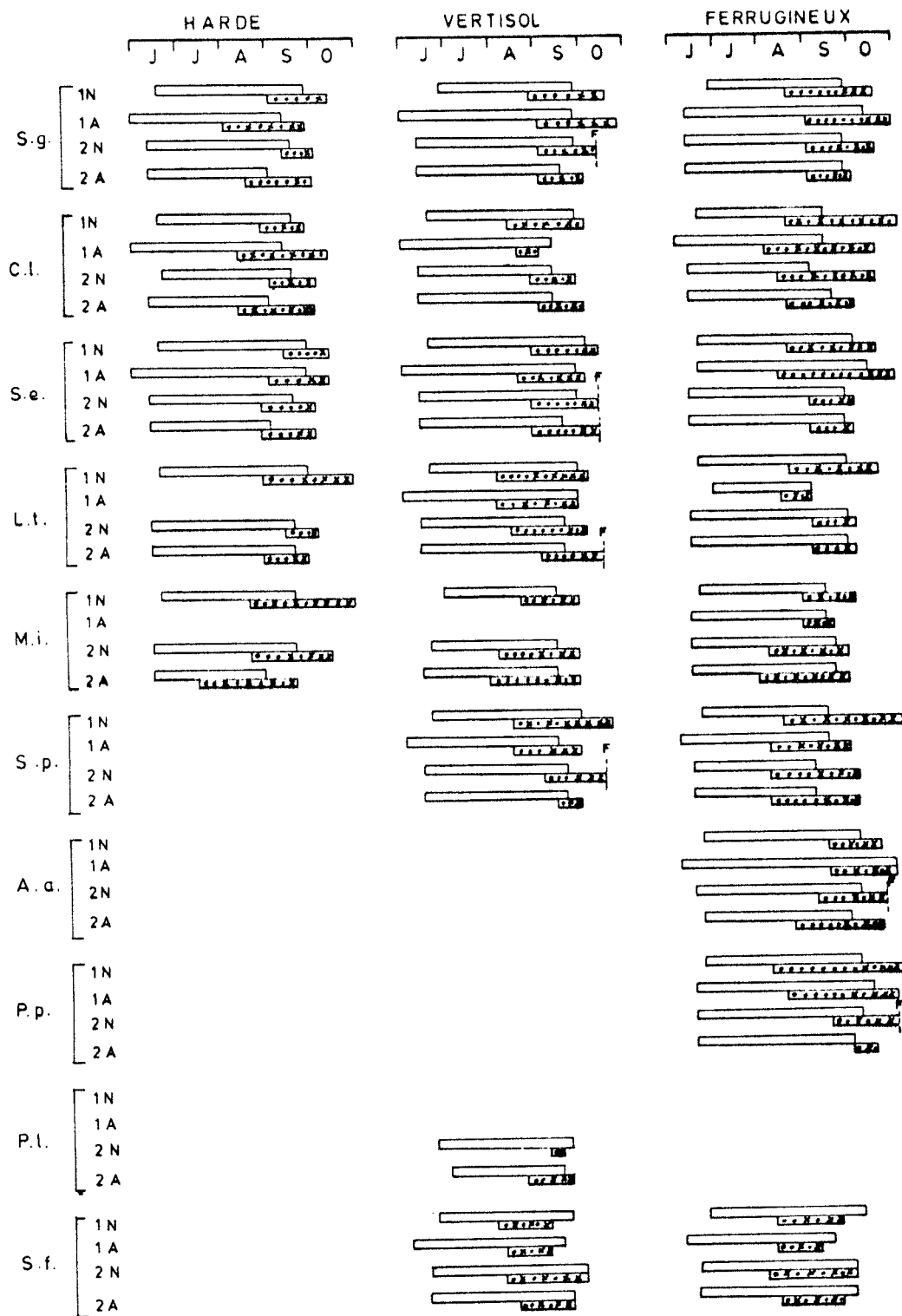


Fig. 21. VARIABILITE INTERANNUELLE DES ESPECES HERBACEES

1 : 1^{re} année
2 : 2^{me} année

N : Conditions naturelles
A : Arrosée

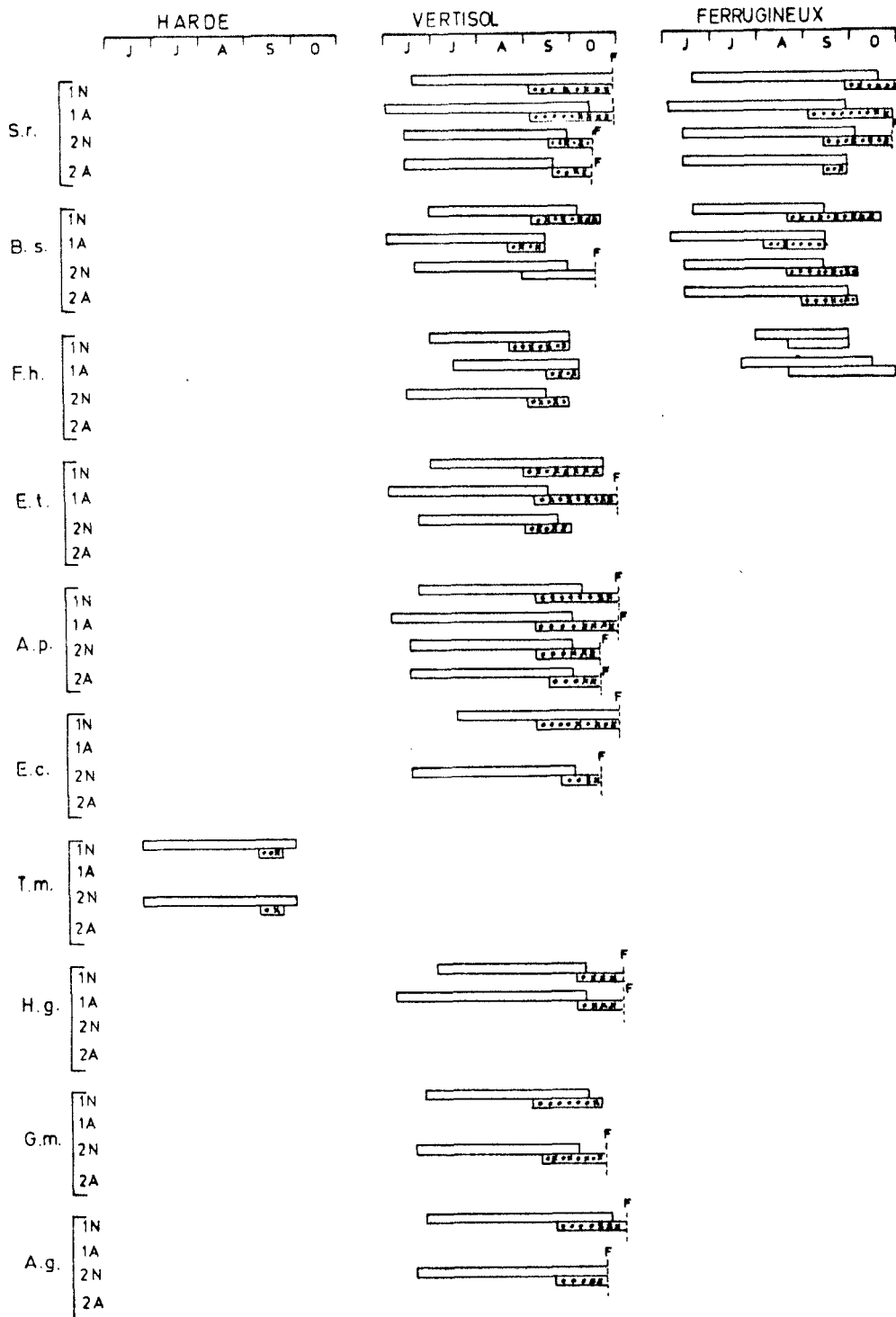


Fig. 22 - VARIABILITE INTERANNUELLE DES ESPECES HERBACEES
(Légende voir fig. 21)

4.4.3.2 Les herbacées

Pour les herbacées, on a considéré uniquement les espèces pour lesquelles la comparaison était possible.

La variabilité des réponses est très importante (fig. 21 et 22) et elle semble dépendre à la fois des espèces, des types de sol considérés et de la microtopographie de la station.

Il suffit qu'une seule placette d'observation (30 x 30 cm) parmi l'ensemble soit située dans un secteur de la station plus humide que les autres pour avancer la floraison relevée sur le site. Un dépouillement placette par placette (en cours) devrait fournir les informations concernant les paramètres qui interviennent dans une telle diversité de comportements.

Il apparaît d'ores et déjà que les vertisols et les ferrugineux semblent avoir tamponné les effets des différences de régime hydrique ; la végétation sur "hardé" paraît plus sensible.

D'une manière globale, la deuxième saison des pluies (régime naturel) a induit une floraison plus tardive que la première. La période de sécheresse en juillet 1987 a été déterminante. Durant cette période, beaucoup de plantules ont séché, et ce sont de nouvelles germinations qui ont réussi, avec la reprise d'une pluviométrie normale en août, à se développer, mûrir et se reproduire. Là encore, si quelques plantules ont réussi à passer cette période de sécheresse précoce, grâce à une situation privilégiée, elles auront fleuri probablement plus tôt que la majorité de la population ; mais leur floraison a quand même été prise en compte dans l'établissement du rythme phénologique de l'espèce sur l'ensemble du site. Ceci expliquerait les inversions observées suivant les sites.

Enfin, l'arrosage précoce semble avoir, assez souvent, avancé la floraison la première année sur tous les types de sol et seulement sur "hardé" la deuxième année. En effet, on a assisté, en 1987, à l'établissement d'un début de hardéisation, sur ferrugineux et vertisols, à l'emplacement du cercle qui avait été arrosé. Le couvert est resté faible et l'importance relative de *Schoenelfedia gracilis* a été anormalement élevée sur les placettes. En revanche, sur "hardé", l'accroissement de la densité du couvert et l'augmentation de la hauteur de la végétation relativement aux zones non arrosées, ont été identiques les deux années.

4.5 Conclusion

En résumé, le bassin versant de Mouda présente une végétation ligneuse relativement diversifiée et une végétation herbacée constituée quasi exclusivement de Graminées annuelles.

De par la sévérité des conditions climatiques et édaphiques, mais aussi à cause des perturbations nombreuses que

l'homme lui impose (feu, pâturage...), la strate herbacée concentre son activité en pleine saison des pluies. La plupart des espèces ligneuses ont une activité plus précoce qui dure plus longtemps, avec une diversité de niches à la fois spatiale et temporelle nettement plus marquée.

Leur avantage réside dans la possibilité soit d'exploiter, grâce à une racine pivotante, la strate profonde du sous-sol (voir profil racinaire d'*Acacia seyal* sur vertisol et d'*Acacia hockii* sur ferrugineux) soit de stocker des réserves d'eau dans des organes spécialisés comme le fait *Lannea humilis* sur "hardé" (voir profil racinaire fig. 3). Enfin, la diversité des comportements observés en ce qui concerne les ligneux, est soulignée également par la coexistence, dans cette zone de transition, à la fois d'espèces à tendance soudanienne (*Anogeissus leiocarpus*, par exemple) et d'espèces à tendance sahélienne (*Balanites aegyptiaca*, *Acacia* spp.).

Les arbres utilisent l'eau "plus lentement" que les herbacées. Ils économisent l'eau et leur cycle phénologique plus long permet leur coexistence avec les herbacées grâce à une utilisation de l'eau plus précoce et/ou plus tardive. Cependant, dans la région de Mouda, ils sont, malgré tout, en compétition directe avec les herbacées une bonne partie de la saison des pluies (système racinaire superficiel uniquement ou système superficiel et pivotant).

Les feux limitent la propagation des ligneux en brûlant les jeunes semis, et ce beaucoup plus que celle des herbacées qui, brûlées sèches, sont peu sensibles. Un des meilleurs moyens de se maintenir, malgré l'ensemble des traumatismes qu'ils doivent subir (feu, ébranchage, abattage, etc.) est, pour les ligneux une forte capacité à rejeter.

Un autre fait remarquable réside dans la quasi-absence des herbacées pérennes sous un climat dont la pluviométrie est largement suffisante pour leur permettre un développement important.

Il semble qu'il y ait eu élimination des herbacées pérennes. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour tenter d'expliquer leur absence du milieu :

(i) une aussi longue saison sèche exige de la part des herbacées pérennes un enracinement puissant pour résister. Leur possibilité de faire des réserves dans les racines est limitée par la pression pastorale trop forte pour le climat (surpâturage épuisant progressivement la plante) ;

(ii) les sols étudiés ont tous été cultivés et le labour est connu pour éliminer les herbacées pérennes. Celles-ci ont du mal à se réintroduire d'autant plus qu'elles constituent une catégorie qui privilégie la reproduction végétative nécessitant donc une souche résiduelle souvent éliminée par un labour régulier ;

(iii) en revanche, les annuelles ont une plus grande facilité pour occuper le terrain dès les premières pluies (vitesse de croissance plus grande que chez les pérennes) ;

(iv) enfin, le feu a souvent lieu en fin de saison des pluies (octobre), ce qui ne favorise pas le rejet de pérennes n'ayant pas eu le temps nécessaire pour constituer des réserves.

Par ailleurs, il existe une différence de composition floristique marquée entre les types de sol étudiés : diversité floristique plus importante sur ferrugineux et plus faible sur "hardé". Celle-ci peut s'expliquer par un fonctionnement hydrique différent.

En effet, les sols ferrugineux bénéficient d'une capacité de rétention d'eau plus faible que les deux autres, ce qui permet à la végétation d'avoir plus d'eau disponible pour une même quantité infiltrée. De plus, les ferrugineux contiennent une nappe d'eau (présence de puits au village de Midaoua) que les ligneux peuvent atteindre grâce à un système racinaire plongeant dont le deuxième avantage est de pouvoir exploiter la zone d'altération de la roche-mère, plus riche en éléments minéraux que la surface. Ainsi, d'une part les herbacées sont limitées plus tardivement par le stress hydrique de la saison sèche (disponibilité de l'eau plus longue) et, d'autre part les ligneux bénéficient d'un apport d'eau et d'éléments nutritifs plus importants (on a affaire à une savane arborée et non arbustive comme sur les deux autres sols) et également d'une activité dans l'année plus longue.

En revanche, les "hardés" imposent à l'ensemble de la végétation, un stress hydrique important par une faible infiltration de l'eau, renforcée par une disponibilité de celle-ci très médiocre qui élimine la plupart des espèces végétales et limite considérablement l'activité de celles qui arrivent à subsister.

La variation interannuelle n'a pas été mise nettement en évidence probablement à cause d'un suivi phénologique trop court (deux ans). Des observations ultérieures sur plusieurs années devraient permettre de révéler l'influence d'une année plus ou moins sèche sur le cycle de vie des végétaux. L'inertie du système ne permet pas un diagnostic à court terme. Cependant, une analyse placette par placette devrait permettre l'élimination de certaines d'entre elles qui s'écartent trop de la moyenne.

Enfin, si la phénologie des plantes n'est pas suffisante à renseigner l'observateur sur le fonctionnement de l'écosystème qu'il étudie, l'analyse démographique, actuellement en cours, devrait aider à mettre en évidence une variation interannuelle et également intersites.

En conclusion, l'action anthropique a eu, et malheureusement continue d'avoir une influence considérable sur le fonctionnement des systèmes écologiques de la région de Maroua. Les principaux effets ont été l'accentuation de contrainte hydrique pour la végétation (en particulier sur les "hardés"). La végétation a répondu par des adaptations, à la fois morphologiques et phénologiques, variées, plus particulièrement encore en ce qui concerne la strate ligneuse.

Le résultat est la constitution de systèmes écologiques relativement diversifiés mais fragiles. Si une telle pression humaine devait se maintenir sans rationalisation de l'exploitation du milieu, une augmentation croissante de la dégradation des sols pourrait aboutir à un vaste "hardé", pauvre en végétation, soumis à un ruissellement intensif et malheureusement stable dans sa stérilité alors irréversible.

5 - RUISSELLEMENT ET EROSION

5.1 Introduction

Depuis plusieurs années, avec l'intensification des systèmes de cultures, l'accroissement de la pression anthropique dans les plaines, et la dégradation du régime pluviométrique dans la zone soudano-sahélienne, les sols de cette région sont soumis à des contraintes qui risquent de modifier profondément le milieu naturel.

Il convient donc pour une gestion optimale des ressources en eau et en sol et leur conservation, d'étudier les caractéristiques hydrodynamiques des différents types de sols, leur sensibilité à l'érosion hydrique, et leur évolution dans le temps. Cela nécessite la mise en oeuvre de techniques simples, peu onéreuses, permettant dans des délais brefs d'étudier un certain nombre de paramètres conditionnels du ruissellement et de l'érosion, répondant ainsi aux besoins toujours plus pressants des aménageurs.

C'est l'objectif de l'étude qui a été menée sur les bassins de MOUDA, et pour y répondre la démarche a consisté en l'étude de ces paramètres à différents niveaux d'échelles spatiale et temporelle, et le transfert des résultats d'une échelle à une autre.

Trois niveaux d'échelle spatiale ont été étudiés : le bassin versant de 18,1 km² (BV1) représentatif de la plaine du Diamaré ; le microbassin (BV2 = 3000 m²) intermédiaire entre le grand bassin et les parcelles élémentaires de 1 m² qui figurent le 3ème niveau d'échelle.

Deux échelles temporelles sont prises en compte pour ces expérimentations :

1) les simulations de pluies sur parcelles élémentaires, en saison sèche durant des périodes d'expérimentation relativement brèves (de 3 à 7 jours selon le protocole mis en oeuvre).

2) le suivi de certaines parcelles tout au long de la saison des pluies, couplé avec l'observation des bassins versants pendant la même période.

Nous allons dans ce rapport présenter succinctement les différents sites étudiés, et les méthodes mises en oeuvre, propres à chaque niveau d'échelle. Les principaux résultats en ce qui concerne le ruissellement, ainsi que la sensibilité des sols à l'érosion hydrique, feront l'objet d'un développement

BASSIN VERSANT 1 DE MOUDA

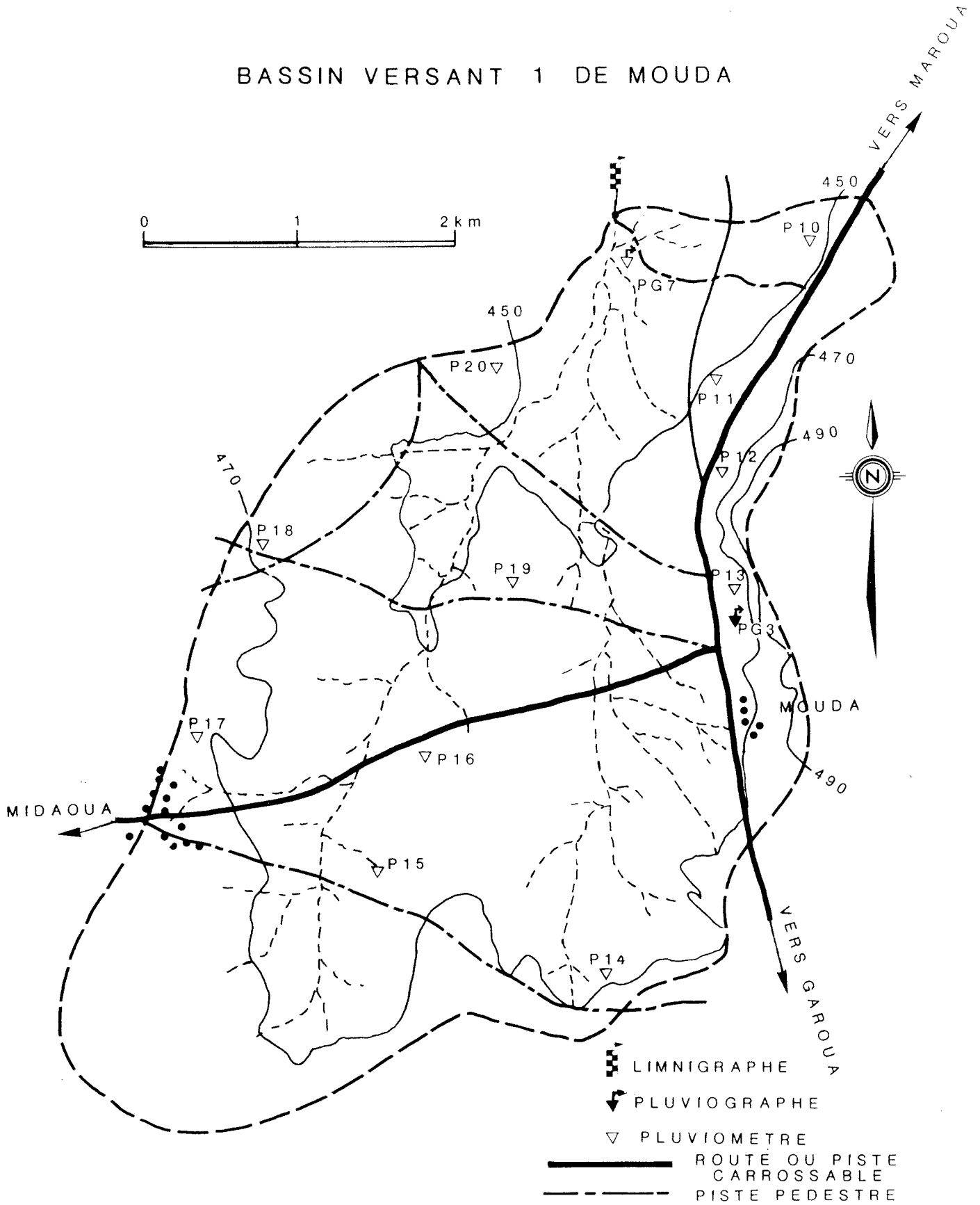


Fig. 23 - CARTE D'EQUIPEMENT

plus poussé. L'interprétation a été menée à partir des données recueillies au cours des campagnes 1984-85, et a déjà donné lieu à une synthèse (THEBE, 1987) dont on reprendra ici les principaux résultats.

5.2 Matériel et méthodes

5.2.1 A l'échelle des bassins

5.2.1.1 Le bassin n° 1

L'équipement hydro-pluviométrique est constitué d'un réseau de onze postes pluviométriques et deux pluviographes journaliers, la station de contrôle des hauteurs d'eau étant équipée d'un limnigraphe type OTT X à révolution journalière et d'une batterie d'échelle limnimétrique. Les mesures de débits sont assurées par un dispositif d'exploration du champ des vitesses, à l'aide d'un moulinet monté sur perche ou sur saumon de lestage et station téléphérique. L'étalonnage de la station a été établi à partir de 178 jaugeages effectués en 1984-85.

La figure n° 2 montre le schéma de la répartition des sols sur un transect représentatif du bassin, la carte des équipements est présentée fig. 23.

5.2.1.2 Le microbassin (BV2 = 3000 m²).

Ce bassin est de forme très compacte, plat (pente moyenne de l'ordre de 3 ‰), son réseau hydrographique très peu marqué n'apparaît que dans le tiers aval, sous forme d'un canal collecteur assez encaissé.

Situé à proximité de la station du bassin principal, ce bassin est représentatif à l'intérieur du BV1 des vertisols dégradés et des sols "hardés". Certains de ces sols sont dans la phase finale de dégradation, avec l'apparition en surface de nodules calcaires. La végétation est généralement peu abondante, voire inexistante sur les zones hardées.

Le dispositif hydro-pluviométrique (cf. fig. n° 24) comprend trois pluviomètres et un pluviographe journalier. Le contrôle des hauteurs d'eau est assuré par un limnigraphe OTT X à rotation rapide (3 h 12 mn), la mesure des débits est assurée par un seuil déversoir en V, doublé d'un seuil jaugeur NEYRTEC.

Un suivi de l'état hydrique des sols a été mené, grâce à six tubes de mesures à la sonde à neutrons (repérés H₁...H₆).

Le dispositif d'évaluation de l'érosion comprend en particulier une fosse à sédiments, qui permet le "piégeage" des éléments lourds, des échantillons d'eau état prélevés à l'exutoire, pour appréciation des matières en suspension exportées lors du fonctionnement du déversoir. Ce dispositif est renforcé par l'implantation sur l'impluvium de quatre placettes d'érosion à 81 aiguilles réparties sur 16 m² (E₁, E₂, E₃, E₄).

BASSIN 2 MOUDA HARDE

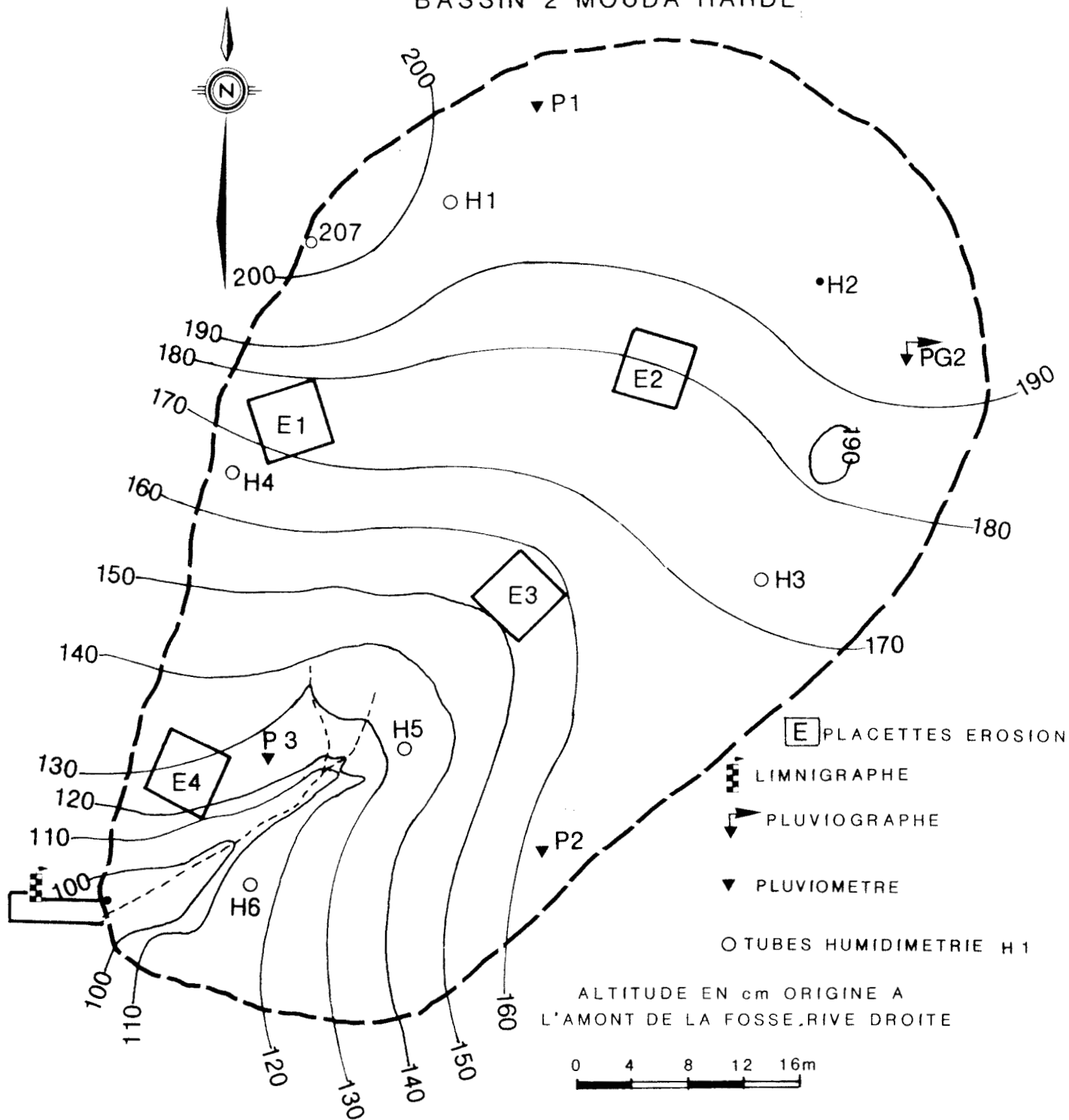


Fig.24 - CARTE D'EQUIPEMENT

		SITE I			SITE II			SITE III			SITE IV			SITE V					SITE VI			SITE VII		
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15			P16	P17	P18	P19	P20	P21
A V R I L · 8 3	B	95	-	-	60	50	-	25	5	30	10	5	10	20	60	40	F E V · 8 5	B	15	15	15			
	S.G	4	-	-	35	10	-	5	<1	<1	10	15	15	20	20	15		S.G	75	70	75			
	V.L	0	-	-	5	25	-	5	5	5	5	5	5	10	1	40		V.L	10	2	10			
	La	0	-	-	0	0	-	p3	p2	0	p3	p2	0	0	p2	0		La	0	0	0			
J A N · 8 4	B	95	95	90	0	50	60	20	0	20	0	0	10	15	60	60	N O V · 8 5	B				0	0	0
	S.G	4	5	8	35	10	25	5	<1	<1	10	15	15	20	20	15		S.G				30	20	10
	V.L	0	0	0	80	20	0	5	5	5	0	0	0	5	5	5		V.L				65	80	90
	La	0	p5- p6	0	0	p5- p6	0	p5- p6	0	0	p5- p6	-	-	0	p5- p6	0		La				0	0	0
O C T · 8 4	B	95	95	90	10	0	60	0	0	0	0	0	10	10	10	40								
	S.G	4	5	8	35	10	25	5	<1	<1	10	15	15	20	20	15								
	V.L	0	0	0	35	75	0	40	50	75	30	60	10	50	50	20								
	La	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								

B = Pellicule de battance S.G. = Sables + graviers V.L. = Végétation + litière La = Labour manuel à la houe p2 = n° pluie succédant au labour

Tableau.10 Différents états de surface et d'occupation du sol en %
Parcelles de simulation de pluie

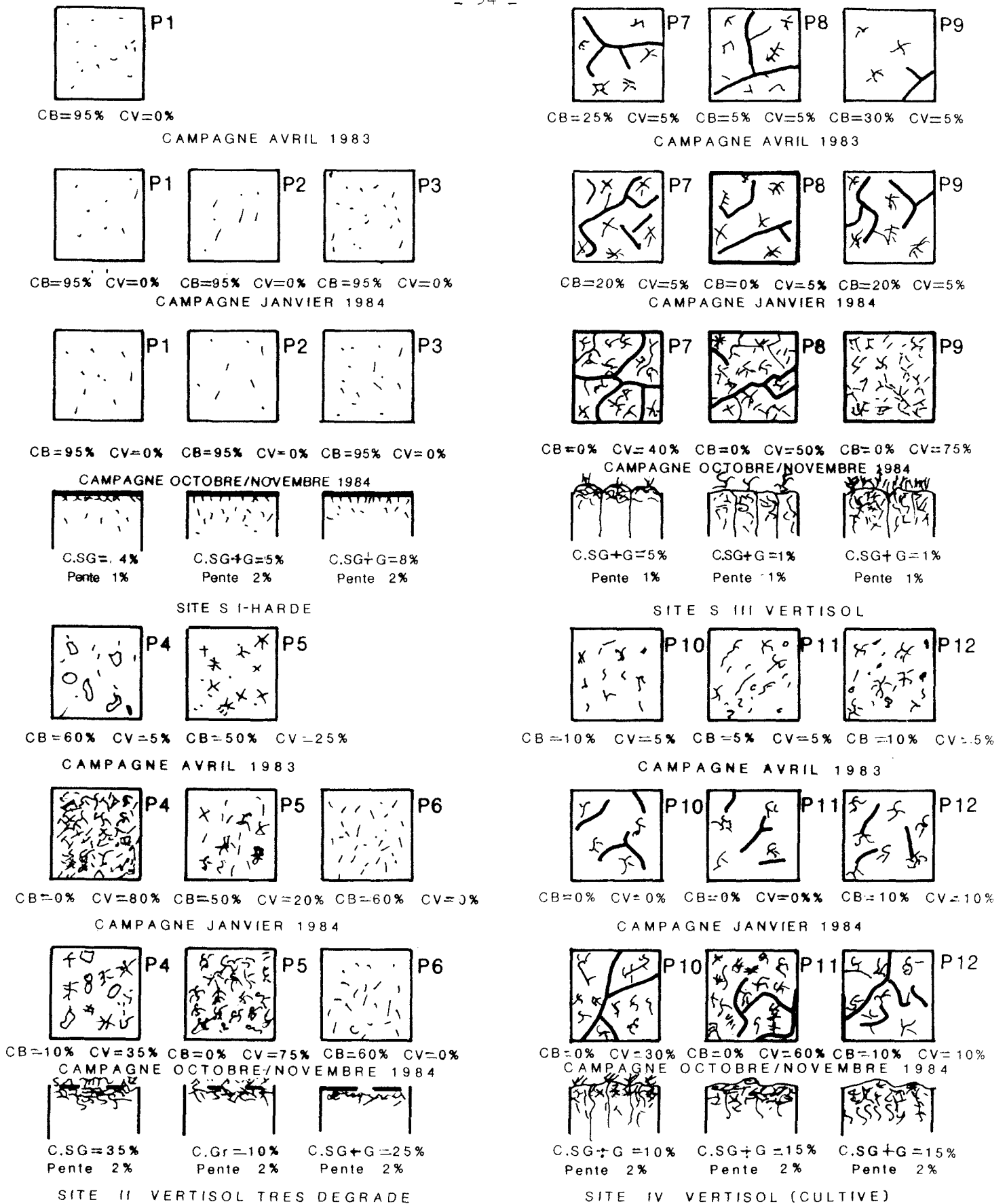


Fig. 25 REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES ETATS DE SURFACE DES PARCELLES DE SIMULATION DE PLUIE

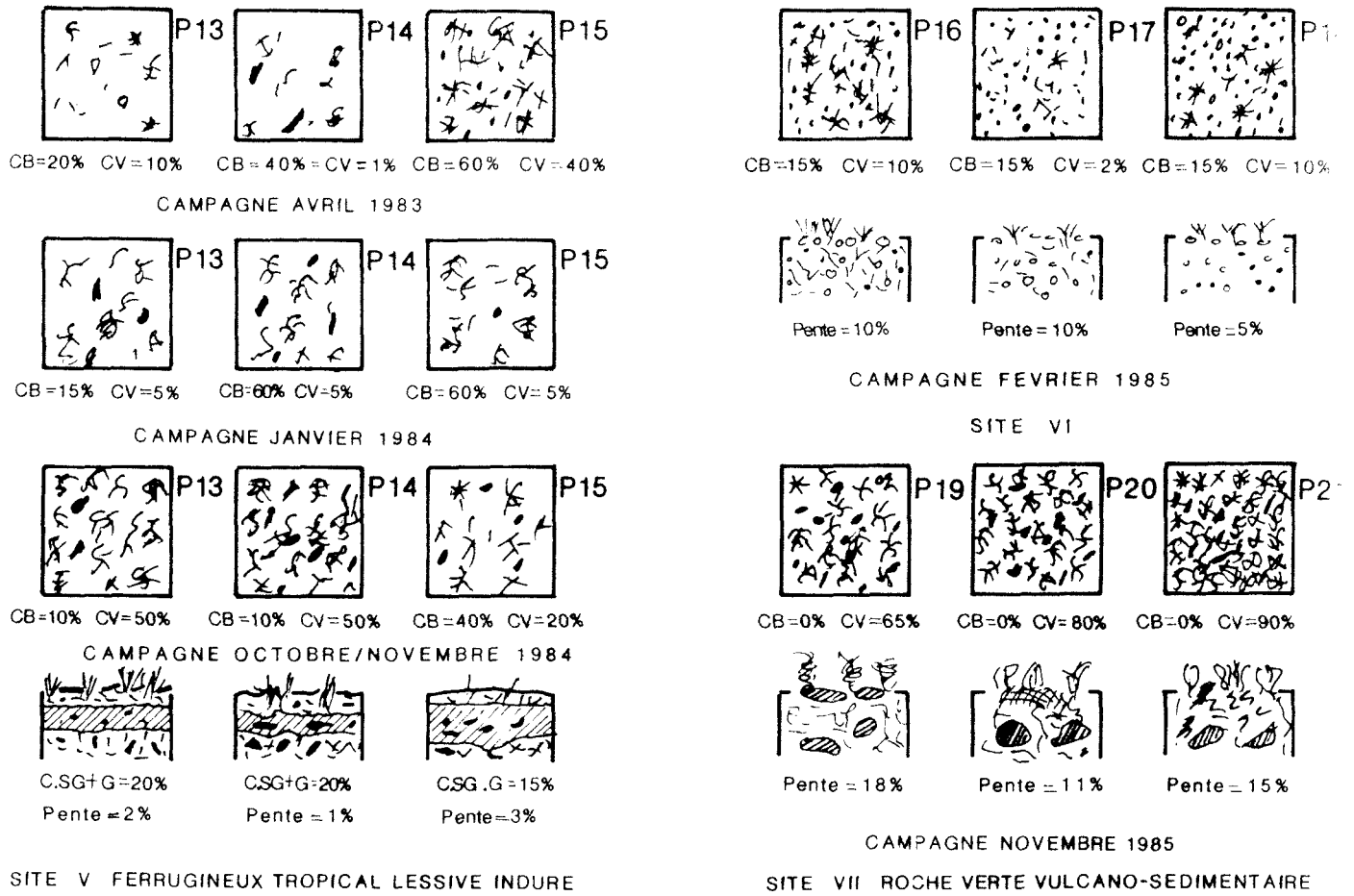


Fig.26 REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES ETATS DE SURFACE DES PARCELLES DE SIMULATION DE PLUIE

5.2.2 A l'échelle du m² - la simulation de pluie

5.2.2.1 Les dispositifs

Le dispositif de simulation de pluie utilisé pour cette étude est du même type que celui mis au point et décrit par J. ASSELINE et C. VALENTIN (1978) en Côte d'Ivoire.

L'originalité principale de cet appareil par rapport aux modèles utilisés aux U.S.A en particulier, réside dans la possibilité de régler l'intensité de la pluie sans interruption de celle-ci, de manière progressive et continue. Ceci étant induit par la variation de l'angle de balancement du gicleur, au-dessus de la parcelle de 1 m² sur laquelle est effectuée la mesure.

Les eaux de ruissellement collectées à l'aval de la parcelle, sont recueillies dans une cuve, sur laquelle est installé un limnigraphe de laboratoire, permettant une précision de l'ordre de 10 secondes en temps, et de 1/10 de millimètre en hauteur de lame ruisselée.

Sept sites de mesures (SI à SVII) comprenant chacun trois parcelles de 1 m², ont été aménagés le long d'un transect représentatif de la répartition des sols du bassin n° 1 (cf. fig. 2).

Trois sites (SI ; SII ; SVI) sont situés à la périphérie du bassin n° 2, et plus particulièrement représentatifs de celui-ci.

Le tableau ci-après présente les différents types de sols testés et le numéro du site implanté. La description de ces différentes unités ayant été présentée par ailleurs.

N° du site	Unité cartographique
S I.....	Milieus "hardés"
S II.....	Vertisols dégradés
S III.....	Vertisols modaux
S IV.....	Vertisols cultivés au contact des sols fersiallitiques
S V.....	Sols ferrugineux
S VI.....	Régosols sur matériau à nodules calcaires
S VIII.....	Sols régosoliques à faciès fersiallitique des collines.

L'information concernant les différents états de surface et types d'occupation du sol lors de chaque campagne de mesure est synthétisée dans le tableau 10 ; une représentation schématique est donnée fig n° 25 et 26.

5.2.2.2 La méthode

Nous rappellerons brièvement les principaux objectifs des études sous pluie simulée :

- l'analyse fine des facteurs conditionnels du ruissellement et de l'infiltration.
- la détermination des crues de fréquence rare (crue décennale).
- une meilleure utilisation des modèles mathématiques, qui nécessitent souvent un calage sur des valeurs observées **in situ**.
- l'étude du rôle joué par les différents états de surface, pratiques culturales, etc. afin d'améliorer l'efficacité des pluies pour les réserves en eau des plantes.
- l'étude de l'érodibilité des sols. Bien que l'on ne puisse pas parler d'érosion à l'échelle de la parcelle de un m² (effet de pente inexistant), VALENTIN (1981) propose le terme de "détachabilité", et la définit comme "l'aptitude d'un sol à être fractionné en particules susceptibles d'être transportées". On peut classer les sols selon ce dernier critère.

De nombreux travaux ont déjà été réalisés dans le cadre général que nous venons de définir en Afrique et plus récemment en Amérique du Sud par les hydrologues, pédologues, agronomes de l'ORSTOM. On peut citer en particulier : ALBERGEL et al., 1982-84 a et b - 1985 ; ALBERGEL, CASENAVE, 1984 ; CASENAVE, 1981-82 ; CHEVALIER, 1982 ; COLLINET, VALENTIN, 1979 a et b ; PONTANIER et al., 1985 ; VALENTIN, 1978-1981 ; ROOSE, 1977 ; ESCADAFAL et al., 1985, CASENAVE et VALENTIN, 1988.

C'est dans cet ensemble d'actions coordonnées que s'inscrit notre programme, avec un intérêt particulier pour la généralisation des résultats de la parcelle au champ puis au bassin versant, et des essais en mode synchrone vers le mode diachrone.

- 1) Trois époques pour les simulations de pluie : début, milieu, fin de saison sèche.
- 2) Suivi de certaines parcelles tout au long de la saison des pluies.
- 3) Transfert des résultats de la parcelle élémentaire au "champ" puis au bassin versant.

La méthodologie consiste à mesurer sur des groupements de trois parcelles de 1 m² chacune, représentatives des milieux étudiés (type de sol, état de surface, de couvert végétal, etc.) la lame ruisselée (ou infiltrée, par différence avec la hauteur d'eau précipitée) au cours d'une averse, ou d'une série d'averses, dont on maîtrise les caractéristiques (hauteur, durée, intensité, intervalle de temps entre deux averses).

N° PLUIE → Parcelle ↓	p1 h mm	p2 h mm	p3 h mm	p4 h mm	p5 h mm	p6 h mm	p7 h mm	p8 h mm	p9 h mm	p10 h mm	p11 h mm	p12 h mm	p13 h mm	p14 h mm	p15 h mm	p16 h mm
S I P1	45.0	45.0	45.0	18.0	49.0	44.6	27.5	26.3	26.3	41.3	41.3	41.3				
S I P2	-	-	-	18.0	49.0	44.6	27.5	26.3	26.3	41.3	41.3	41.3				
S I P3	-	-	-	18.0	49.0	44.6	27.5	26.3	26.3	41.3	41.3	41.3				
S II P4	45.0	45.0	47.0	23.2	49.0	44.6	27.5	26.3	26.3	41.3	41.3	41.3				
S II P5	45.0	45.0	45.0	23.2	49.0	44.6	27.5	26.3	26.3	41.3	41.3	41.3				
S II P6	-	-	-	18.0	49.0	44.6	27.5	26.3	26.3	41.3	41.3	41.3				
S III P7	45.0	45.0	45.0	23.2	49.0	44.6	27.5	26.3	26.3	41.3	41.3	41.3				
S III P8	45.0	46.3	48.4	23.2	49.0	44.6	27.5	26.3	26.3	41.3	41.3	41.3				
S III P9	45.0	45.0	45.0	23.2	49.0	44.6	27.5	26.3	26.3	41.3	41.3	41.3				
S IV P10	45.0	45.0	48.4	24.0	49.0	45.5	27.5	26.3	26.3	41.3	41.3	41.3				
S IV P11	45.0	45.0	45.0	24.0	49.0	45.5	27.5	26.3	26.3	41.3	41.3	41.3				
S IV P12	45.0	45.0	46.3	24.0	49.0	45.5	27.5	26.3	26.3	41.3	41.3	41.3				
S V P13	36.0	47.0	45.0	25.1	49.0	44.6	27.5	26.3	26.3	41.3	41.3	41.3				
S V P14	54.0	49.6	48.3	25.1	49.0	44.6	27.5	26.3	26.3	41.3	41.3	41.3				
S V P15	45.0	54.0	48.3	25.1	49.0	44.6	27.5	26.3	26.3	41.3	41.3	41.3				
S VI P16	-	-	-	-	-	-	27.5	26.3	26.3	41.3	41.3	41.3				
S VI P17	-	-	-	-	-	-	27.5	26.3	26.3	41.3	41.3	41.3				
S VI P18	-	-	-	-	-	-	27.5	26.3	26.3	41.3	41.3	41.3				
S VII P19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.5	32.0	40.0	55.0
S VII P20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.5	30.0	40.0	55.0
S VII P21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.5	30.0	40.0	55.0

Tableau 11 : Pluies simulées- Hauteurs précipitées en millimètres

On définit les caractéristiques des averses à simuler et leur succession, à partir de l'analyse des données pluviographiques et pluviométriques des postes longue durée de la zone étudiée et ceci constitue la base du protocole expérimental.

Sont également suivies la dynamique d'humectation des sols, ainsi que celle de ressuyage et de dessèchement, par des mesures de profils d'humidité à la sonde à neutrons avant et après chaque averse (l'évaporation étant considérée négligeable au cours de l'averse).

Des prélèvements d'eau sont effectués sur chaque volume ruisselé pour mesurer la turbidité. La collecte du charriage à l'exutoire de la parcelle permet de quantifier la détachabilité.

5.2.2.3 Les protocoles de simulation de pluie

L'établissement du protocole de pluies consiste à définir la chronologie des différentes averses avec leurs caractéristiques, de façon à se rapprocher d'une situation naturelle moyenne, en apportant le maximum d'enseignement dans un temps relativement court. Il n'est bien sûr pas possible de faire varier en continu les intensités comme c'est le cas pour les pluies naturelles ; nous définirons l'averse par une ou plusieurs séquences d'intensités, sans interruption de la pluie.

Trois campagnes de simulation ont été effectuées, sur tout ou partie des parcelles installées. Le site S VIII, installé tardivement, a fait l'objet d'un protocole particulier (appliqué sur des parcelles hors de notre zone d'étude). Ces tests pratiqués à différentes époques de l'année avaient pour but de nous permettre d'apprécier l'influence des divers états de dessèchement du sol, et de couvert herbacé. Au cours des deux premières campagnes, certaines parcelles ont été labourées manuellement à la "houe".

Les averses à intensité constante (p1, p4, p7, p9) sont dites "d'humectation" pour les trois premières, mais servent également dans leur ensemble, à vérifier les "temps d'installation" du régime permanent de ruissellement (LAFFORGUE, 1977).

Les temps de ressuyage entre deux averses ont varié de quatre à quarante huit heures environ. Nous n'avons pas cherché à provoquer d'événements exceptionnels (averse décennale), des coefficients de ruissellement très élevés étant atteints pour des pluies moyennes à fortes ($h = 40$ à 50 mm), avec des intensités relativement fortes (75 à 90 mm/h).

Le tableau 11 ci-après synthétise l'information pluviométrique.

5.3 Etude du ruissellement

5.3.1 Les microparcelles (1 m²)

De nombreux auteurs ont étudié les facteurs conditionnels du ruissellement à l'échelle de la parcelle et du petit bassin versant et ont essayé de modéliser ces résultats obtenus sur de petites surfaces, pour pouvoir les transposer à des bassins plus importants.

SCHREIBER et KINCAID (in OSBORN et LANE, 1969) ont travaillé dans le Sud de l'ARIZONA sur des parcelles de 1,12 à 4,8 hectares présentant des états de couverture végétale différents. Ils avaient au départ retenu cinq variables explicatives du ruissellement ; la pluie totale, l'intensité maximale en cinq minutes, l'indice des pluies antérieures, la superficie, un indice de couvert végétal.

Dans la majorité des cas, la hauteur de pluie fut le paramètre déterminant pour estimer le ruissellement, puis l'intensité maximale en cinq minutes, ou l'indice des pluies antérieures, mais dans aucun cas, une troisième variable ne fut significative au seuil de 1 %.

MINSHALL (in OSBORN et LANE, 1969) retint comme variables explicatives du ruissellement, sur des bassins du Middle West, la hauteur de pluie et l'indice des pluies antérieures du type KOHLER.

A l'échelle des petites parcelles, sous pluies simulées, on peut citer SWANSON (1965) et plus récemment LAFFORGUE (1977), CASENAVE (1981-1982), CHEVALLIER (1982), ALBERGEL et al. (1984), COLLINET (1985). La plupart de ces auteurs retiennent comme variables explicatives du ruissellement la hauteur de pluie (Pu), l'indice des pluies antérieures IK, tel que A. CASENAVE (1982) et P. CHEVALLIER (1983) l'ont défini (les autres paramètres ne variant pas sur une même parcelle).

Pour notre étude, nous avons retenu le modèle à régression linéaire multiple. Les variables explicatives de la lame ruisselée sont :

- la pluie totale : Pu
- l'indice des pluies antérieures : IK
- l'indice de couvert végétal : CV.

Nous venons de voir dans les exemples cités plus haut, qu'un troisième paramètre n'amenait pas d'amélioration sensible à la régression multilinéaire. Il n'en est pas de même dans notre étude. En effet, sous pluie simulée, pour quatre sites sur six, le rôle de la végétation n'est pas négligeable.

5.3.1.1 Modélisation du ruissellement sous pluie simulée

La mise au point du modèle pour expliquer les lames ruisselées, a comporté trois étapes :

- homogénéisation des données observées sur les trois parcelles d'un site,
- test de signification des coefficients de régression,
- expression sous forme de fonction linéaire de la lame ruisselée en fonction des variables les plus significatives pour chacun des sites.

A l'issue de ce travail, nous obtenons pour chaque site, les fonctions de production suivantes :

Site I: $Lr = 0.91 Pu - 4.21$	$R^2 = 0.941$	(28 observations)
Site II: $Lr = 0.758 Pu + 0.146 IK - 0.207 CV - 4.57$	$R^2 = 0.816$	(31 observations)
Site III: $Lr = 0.575 Pu + 0.264 IK - 17.0$	$R^2 = 0.814$	(32 observations)
Site IV: $Lr = 0.403 Pu + 0.139 IK - 0.230 CV - 6.13$	$R^2 = 0.618$	(32 observations)
Site V: $Lr = 0.583 Pu + 0.205 IK - 0.135 CV - 8.17$	$R^2 = 0.872$	(33 observations)
Site VI: $Lr = 0.661 PU + 0.197 IK - 0.292 CV - 5.47$	$R^2 = 0.900$	(18 observations)

Les lames ruisselées observées après labour manuel de la parcelle n'ont pas été introduites dans les régressions.

Sur le site S I, seule la variable pluie est significative, alors que sur tous les autres sites, le même test (STUDENT) accepte également les variables IK (indice des pluies antérieures) et, à l'exception du site S III, l'indice de couvert végétal CV. Pour le site S I représentatif des "terres hardées", la non-incidence de la variable IK qui caractérise le "réservoir-sol" dans l'horizon de surface, prouve bien l'inexistence de l'infiltration dans ces terres et confirme la description qui en a été faite par BRABANT et GAVAUD (1985).

Nous avons essayé d'établir une relation entre la lame ruisselée et les paramètres précédents, sur le site VII. La seule variable explicative du ruissellement, au seuil de 1 %, est l'indice des pluies antérieures IK. Cela montre que sur ces sols de collines, fissurés, il ne peut y avoir ruissellement que pour des conditions de saturation exceptionnelles. On l'a d'ailleurs vérifié au cours de la saison des pluies. En conséquence, nous estimerons dans la suite de l'étude, que cette partie du bassin n'apporte pas de ruissellement.

5.3.1.2 Reconstitution des lames ruisselées observées sous pluies naturelles - Transfert d'échelle temporelle

Depuis le début des études sous pluie simulée à l'ORSTOM, les auteurs ont admis deux hypothèses de départ :

- la dynamique de l'eau dans le sol sous pluie simulée et sous pluie naturelle est la même puisque le mini-simulateur reproduit fidèlement les principaux paramètres des averses naturelles (intensités, hauteur, énergie cinétique des gouttes de pluie).

- pour s'affranchir des perturbations dues aux pluies naturelles, les expérimentations ont toujours été menées en saison sèche, en considérant que l'influence de la végétation herbacée sur l'infiltration et le ruissellement, est liée à sa densité et non à son état physiologique.

Le suivi de trois sites de simulation (S I - S II - S VI) en saison des pluies va nous permettre de concevoir un nouveau modèle de prédétermination des lames ruisselées, et de vérifier les deux hypothèses précédemment émises.

Les paramètres de ce modèle sont les mêmes que ceux du "modèle simulateur" :

- la hauteur de pluie (Pu) (mesurée au sol),
- l'indice des pluies antérieures (IK), calculé à partir des enregistrements du pluviographe PG2 (cf. carte du bassin versant n° 2) situé à proximité immédiate des trois sites.
- l'indice de couverture végétale (CV). Une estimation de la densité du couvert à différentes dates de la saison des pluies, permet de donner à cet indice des valeurs représentatives de l'évolution du couvert herbacé.

Les fonctions de production des trois sites de simulation suivis en conditions naturelles sont les suivantes :

Site I	$Lr=0,838 Pu - 2,34$	$R^2=0,962$ (60 observations)
Site II	$Lr=0,541 Pu-0,103CV+0,075$	$R^2=0,815$ (82 observations)
Site VI	$Lr=0,576 Pu+0,959$	$R^2=0,878$ (98 observations)

- Sur le site S I, comme dans le modèle "simulateur", le seul paramètre retenu est la hauteur de pluie, et les deux équations sont à peu près équivalentes.

- Sur le site S II, l'indice des pluies antérieures IK disparaît. Cela s'explique par le fait que durant la saison pluvieuse, les variations de IK sont moins importantes que dans les protocoles de simulation et la probabilité d'avoir un IK fort pour de grosses averses est très faible (L. SEGUIS, 1986 - op.cit.). L'écart important entre les coefficients de régression de la variable Pu n'est pas expliqué par les deux autres variables, telles que définies précédemment. Nous verrons dans ce qui suit quelle peut en être l'explication.

- Sur le site S VI, l'indice IK n'est pas significatif dans le modèle "pluie naturelle", pour les mêmes raisons que sur le site II, pas plus que l'indice de couvert végétal CV, alors que celui-ci était retenu dans le modèle "simulateur".

Nous avons cherché les relations liant les lames ruisselées calculées par les deux modèles, aux lames ruisselées observées, sur chaque site. Cela nous donne le système d'équations suivant :

SITE I	$L_{ro} = 0.93 L_{rs} + 1.34$	$r = 0.24$	60 observations
	$L_{ro} = 0.99 L_{rn} - 0.02$	$r = 0.98$	60 observations
SITE II	$L_{ro} = 0.85 L_{rs} + 0.55$	$r = 0.92$	84 observations
	$L_{ro} = 1.08 L_{rn} - 1.18$	$r = 0.92$	84 observations
SITE VI	$L_{ro} = 1.06 L_{rs} + 1.59$	$r = 0.94$	96 observations
	$L_{ro} = 0.96 L_{rn} + 1.21$	$r = 0.94$	96 observations

On se rend compte que la reconstitution des lames ruisselées par les deux modèles est satisfaisante sur les sites S I et S VI, dépourvus de végétation, ou présentant un couvert très faible, où les écarts moyens sont inférieurs à 6 % ; le modèle "pluie naturelle" donnant les meilleurs résultats sur le site S I, dénudé (cf. Annexe 5).

Sur le site S II, le modèle "simulateur" surestime assez largement les lames ruisselées.

Cette surestimation doit avoir pour origine l'état physiologique de la végétation herbacée qui est le seul paramètre important dont les variations n'ont pas été prises en compte par le modèle "simulateur" en saison sèche. En effet, quand la végétation est en "phase active", l'infiltration peut être augmentée par la fragilisation des pellicules de battance due aux germinations, par la rugosité de surface plus importante et par le développement du système racinaire. D'autres "facteurs saisonniers", non pris en compte, doivent également intervenir, par exemple l'activité mésosofaunique plus importante en saison des pluies et sur sol couvert.

Cette surestimation liée au couvert peut d'ailleurs être vérifiée sur le site S II, en ne prenant en compte que les parcelles P4 et P5, qui ont de la végétation (couvert moyen 45 %).

Nous obtenons un nouveau système, avec 22 observations en simulation de pluie, et 55 observations en conditions naturelles (les observations sur la parcelle P6, dénudée, n'ayant pas été prises en compte dans ce cas).

$$\begin{aligned} L_{rs} &= 0,690 Pu + 0,171 IK - 0,242 CV - 0,290 & r &= 0,892 \\ L_{rn} &= 0,449 Pu - 0,120 CV + 2,70 & r &= 0,890 \end{aligned}$$

Les relations liant les lames ruisselées observées et calculées s'écrivent :

$$\begin{aligned} L_{ro} &= 0.77 L_{rs} + 12,14 & r &= 0.91 & 55 \text{ observations} \\ L_{ro} &= 0.94 L_{rn} - 0.38 & r &= 0.91 & 55 \text{ observations.} \end{aligned}$$

En conclusion, les écarts du même ordre de grandeur dans la reconstitution des lames ruisselées observées, par les deux modèles, sur les sites S I et S VI vérifient la première hypothèse énoncée, sur la fidélité de la reproduction des averses par le simulateur, ainsi que la non-influence d'un couvert végétal faible.

La deuxième hypothèse sur l'état physiologique de la végétation est infirmée par les résultats obtenus sur le site S II, tout au moins quand le couvert végétal est dense.

Nous noterons que dans tous les cas le coefficient de corrélation entre les deux modèles est voisin de un.

5.3.2 Résultats sur le bassin versant n°2 (S=3000m²)

Avant d'aborder ce paragraphe, précisons que l'écoulement observé à l'exutoire du bassin est dû exclusivement au ruissellement superficiel cheminant en nappe ou rigoles sur le sol du bassin versant.

La mesure du ruissellement au droit de la fosse est déduite des variations de hauteur d'eau dans celle-ci, et éventuellement du calcul des débits déversés lors de débordements.

Dans ce qui suit, nous utilisons les notations suivantes :

N°	numéro d'ordre de la crue
Date	date du début de la crue
Pm	hauteur moyenne de l'averse responsable (mm)
Pi	hauteur de la pluie d'imbibition (mm)
Vr	volume ruisselé (m ³)
Lr	lame ruisselée (mm)
Kr	coefficient de ruissellement : Vr/Pm (%)
Tm	temps de montée de la crue (mn)
Tb	temps de base de la crue (mn)
Q _{max}	débit maximal ruisselé de la crue (l/s)
a	coefficient de forme. Il est égal au rapport du débit maximal ruisselé Q _M au débit moyen ruisselé Q _m avec Q _m = Vr/tb
IK	indice des pluies antérieures
CV	indice de couvert végétal
Er	masse de sédiments érodés au cours d'une averse (kg)
Er.sp	érosion spécifique (T/Ha)

On trouvera en annexe 5 les caractéristiques des crues.

5.3.2.1 Coefficient de ruissellement

Caractérisé par une très grande variabilité, 3 à 4 % pour de faibles averses, il peut atteindre des valeurs de l'ordre de 75 à 80 % pour des pluies moyennes à fortes.

Le tableau 12 présente par classes de valeurs de Kr, l'effectif de crues en pourcentage de l'effectif global et les valeurs médianes, moyennes et maximales de Kr.

Année	Classes de Kr %							Val. Med. %	Val. Moy. %	Val. Max. %
	≥ 10	≥ 20	≥ 30	≥ 40	≥ 50	≥ 60	≥ 70			
1984	95	84	76	59	38	22	8	44	44	74
1985	83	79	66	57	40	34	21	41	42	81

Tableau 12 VALEURS CARACTERISTIQUES DE Kr

On remarquera l'abondance du ruissellement : la médiane sur les deux années est de l'ordre de 43 %, et 15 % des crues ruissellent à plus de 70 %. Il est intéressant de noter que pour les deux échantillons, la population (en pourcentage) est à peu près la même pour les valeurs de Kr les plus fréquentes (< 60 %), mais que l'effectif de la première année (année à déficit pluviométrique assez important) est nettement plus faible que celui de la deuxième pour les classes de très forts coefficients de ruissellement (> 60 %).

On l'explique de la façon suivante :

Les fortes valeurs de Kr sont atteintes généralement pour les grosses averses, mais aussi pour des averses moyennes de l'ordre de 15,0 à 20,0 mm qui surviennent dans des conditions d'humectation du sol très favorables. Or, l'obtention de ces conditions favorables est liée à la hauteur des précipitations, mais aussi à leur fréquence. En effet, sur la majorité de ces sols, le gain de stock d'eau dans l'horizon de surface lors d'une averse, est très rapidement repris par évaporation.

5.3.2.2 Relation entre la lame ruisselée et la hauteur de l'averse

Lors de la formation d'une crue, le facteur conditionnel principal est la hauteur de l'averse, c'est elle en effet qui est directement responsable du ruissellement. D'autres facteurs peuvent intervenir de façon souvent conjointe et il est parfois difficile de déterminer la part de chacun dans le résultat final. On retient généralement l'état d'humectation du sol, le couvert végétal, l'intensité maximale de l'averse en 5, 10, 15 mn.

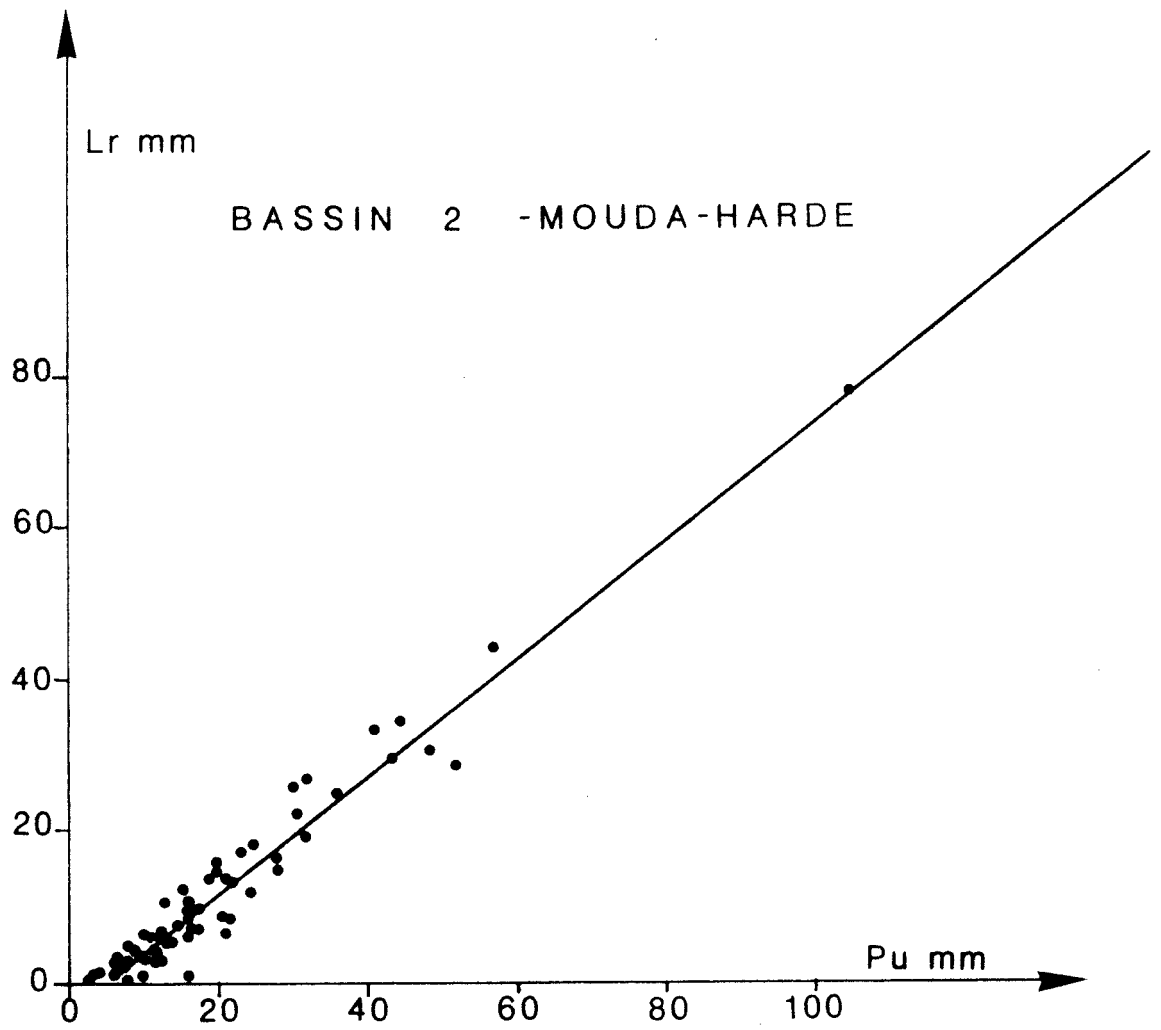


Fig. 27 RELATION LAME RUISSELEE-PLUIE UTILE

Date	Hr (mm)	Vr (m ³)	Qr (l/s)	QM (l/s)	a	Tm (mn)	tb (mn)	tp (mn)
04.05.85	17.6	38.1	45.9	102	2.22	6	37	-
14.06.85	7.2	15.5	7.83	20.0	2.55	10	33	5
10.07.85	11.3	24.3	9.53	42.5	4.46	8.30	42	2
14.07.85	14.4	31.2	9.81	25.6	2.61	6.30	53	5
17.07.85	19.0	41.1	22.5	74.0	3.29	5	30	3.30
21.07.85	13.6	29.5	12.0	42.3	3.53	7.30	41	4
25.07.85	12.6	27.3	17.5	52.5	3.00	8	26	4.30
14.08.85	17.8	38.4	14.5	59.5	4.10	9	44	6

Tableau 13 : Caractéristiques des crues sélectionnées pour tracé des hydrogrammes types (hydrogramme première pointe de crue)

Date	Hr (mm)	Vr (m ³)	Qr (l/s)	QM (l/s)	a	Tm (mn)	tb (mn)	tp (mn)
04.05.85	11.4	9.6	11.0	41.0	3.73	4	14.30	-
14.06.85	5.0	4.2	4.0	8.8	2.20	7	17.30	9
10.07.85	5.5	4.7	4.75	12.5	2.63	5	16.30	6
14.07.85	8.2	6.9	5.61	17.6	3.14	9	20.30	12
17.07.85	10.0	8.3	8.65	20.0	2.31	3	16.00	8
21.07.85	14.4	12.1	10.6	21.0	1.98	2	19.00	14
25.07.85	3.9	3.3	5.24	21.6	4.12	4	10.30	9.30
14.08.85	10.0	8.3	8.14	21.0	2.58	7	17.00	12

Tableau 14 : Caractéristiques des crues sélectionnées pour tracé des hydrogrammes types (hydrogramme deuxième pointe de crue)

Dans le cas particulier de cette étude du ruissellement sur sols "hardés", l'introduction de facteurs secondaires pour expliquer la lame ruisselée n'apporte pas d'amélioration significative, une grande partie de ces sols restant dénudée en toutes saisons, et le domaine de variation de l'indice IK, en conditions naturelles, étant assez réduit.

La relation liant la lame ruisselée à la hauteur de pluie, est d'ailleurs excellente et s'écrit :

$$Lr = 0,779 Pu - 3,94$$

avec un coefficient de détermination $r^2 = 0,950$
(85 observations)

La figure 27 montre la représentation graphique des couples de valeur (Lr, Pu).

5.3.2.3 Crues types et exceptionnelles

Nous allons maintenant, à partir des crues sélectionnées dont les caractéristiques sont rassemblées dans les tableaux (13 et 14) et pour chaque partie du bassin, essayer de déterminer l'hydrogramme moyen, obtenu en calculant pour chaque crue le débit instantané au pas de temps de une minute, puis de cinq minutes au-delà des dix premières minutes, en prenant comme origine des temps l'heure de passage du maximum.

Nous ne nous attarderons pas ici sur la reconstitution des crues par ce modèle, l'approche de la méthode ayant été développée dans la synthèse de B. THEBE (1987).

Le tableau 15 rassemble les caractéristiques probables de la crue annuelle et de la crue décennale.

CARACTERISTIQUES		CRUE ANNUELLE	CRUE DECENNALE
Pluviométrie	mm	65.0	105.
volume ruisselé	m ³	136.	236.
lame ruisselée	mm	45.5	78.7
coeff.ruissellement	%	70.0	75.0
débit max. ruisselé	l/s	75.8	115.
débit moy. ruisselé	l/s	25.3	33.0

Tableau 15 - Caractéristiques des crues exceptionnelles

Le calcul par le modèle simulation de pluie, nous donne pour les crues de même occurrence, en prenant les valeurs suivantes pour les variables :

Indice d'antécédence des pluies IK = 10
 Indice de couvert végétal CV = 30
 crue annuelle : Volume ruisselé = 140 m³
 Lame ruisselée = 46,7 mm
 crue décennale : Volume ruisselé = 235 m³
 Lame ruisselée = 78,3 mm.

5.3.2.4 Bilan hydrologique

Les termes du bilan mensuel pour les deux campagnes sont rassemblés dans le tableau 16, ceux du bilan annuel dans le tableau 17, avec les notations suivantes :

P : Pluviométrie (mm)
 Lr : lame ruisselée (mm)
 Kr : coefficient de ruissellement (%)
 De : déficit d'écoulement = P-Lr (mm)

Période	P (mm)	Lr (mm)	Kr (%)	De (mm)
1 MAI	104.0	29.5	41	74.5
9 JUIN	50.6	10.5	35	40.1
8 JUILLET	244.0	132.	54	112.0
4 AOÛT	154.0	70.8	46	83.2
SEPTEMBRE	71.5	24.4	34	47.1
1 MAI	78.4	26.5	34	51.9
9 JUIN	119.0	76.3	64	42.7
8 JUILLET	346.0	215.	62	131.0
5 AOÛT	238.0	131.	55	107.0
SEPTEMBRE	141.0	48.0	34	93.0
1 MAI	20.5	(-)	-	-
9 JUIN	61.0	18.9	31.0	42.1
8 JUILLET	245.0	84.5	34.0	160.5
6 AOÛT	245.0	87.2	36.0	157.8
SEPTEMBRE	181.0	88.7	49.0	92.3

Tableau 16 - Bilan mensuel B.V.2

Période	P (mm)	Lr (mm)	Kr (%)	De (mm)
1984	624	274	44	350
1985	922	497	54	425
1986	752	279	37	473

Tableau 17 - Bilan annuel B.V.2

5.3.3 Le bassin versant n° 1 (S=18,1 km²)

L'étude hydrologique menée à cette échelle avait pour objectifs de dégager les traits essentiels du comportement d'un bassin versant représentatif de la pénéplaine vis-à-vis du ruissellement, d'étudier les relations averse-crue, ainsi que l'appréciation de la sensibilité des sols à l'érosion hydrique par la mesure des matières transportées. Les caractéristiques ainsi définies serviront de référence pour la transposition des résultats obtenus à l'échelle de la parcelle élémentaire.

Sous le terme de ruissellement, nous désignons à cette échelle la somme du ruissellement pur directement provoqué par l'averse, et du ruissellement retardé dû à la restitution du ruissellement infiltré dans le premier horizon du sol. Une troisième composante peut s'ajouter aux deux premières pour former l'écoulement total, il s'agit de l'écoulement de base, qui correspond au destockage de la nappe. Ici, il est généralement nul, ou négligeable (1 à 2 l/s) par rapport au débit moyen de crue. Pour les crues du 27 juin 1985 et du 16 juillet 1985, le débit de base au début de la crue était respectivement de 0,120 m³/s et 0,050 m³/s : il s'agissait là de la fin de l'écoulement des deux crues précédentes.

Les caractéristiques des crues sont données dans les tableaux en annexe 5.

5.3.3.1 Etude du coefficient de ruissellement

A l'image du bassin n° 2 étudié précédemment, ce bassin est caractérisé par une grande variabilité du coefficient de ruissellement (de 1 à 55 %). Sur les deux années d'observations, le KR moyen est de 16 % pour l'ensemble des crues observées, et de 21,1 % si l'on ne prend en compte que les crues dont la lame ruisselée est égale ou supérieure à 1,0 mm.

Les sols de ce bassin étant majoritairement constitués de vertisols plus ou moins dégradés, ces fortes valeurs de Kr sont en accord avec les résultats obtenus lors des tests pratiqués au minisimulateur sur les parcelles représentatives de ces sols.

Le tableau 18 présente par classes de valeurs de Kr l'effectif de crues en pourcentage de l'effectif global, ainsi que les valeurs moyennes, médianes et maximales.

Année	CLASSES DE Kr (%)						Val. Med.	Val. Moy.	Val. Max.
	≥5	≥10	≥20	≥30	≥40	≥50			
1984	81	70	30	11	0	0	14.7	15.4	38.1
1985	74	57	33	21	10	5	11.1	16.6	55.2

Tableau 18 : Valeurs caractéristiques de Kr

Les mêmes remarques que pour le bassin n°2 sur l'effectif dans les classes de fort coefficient de ruissellement sont à faire ici ; en particulier sur l'effectif de crues dans les classes de coefficient de ruissellement élevé, ici supérieur à 30 %. L'explication est bien sûr identique à celle du bassin n° 2.

5.3.3.2 Etude de la relation pluie-lame ruisselée

Lors de l'aménagement d'un bassin versant expérimental, l'objectif premier est l'étude des mécanismes qui régissent le ruissellement et, par la suite, la transposition des résultats à des bassins non jaugés. Ceci afin de connaître les apports en eau de surface nécessaires au fonctionnement des ouvrages (barrages à vocation hydro-électrique ou agricole, approvisionnement en eau des populations, etc.), mais aussi pour se prémunir contre les dégâts des eaux occasionnés par les crues exceptionnelles. Pour le calcul des dimensionnements d'ouvrages tels que des évacuateurs de crue, la prédétermination des crues (volume, débit maximum, temps de montée, etc.), est nécessaire.

Les aménageurs, outre le problème du dimensionnement, sont confrontés à des impératifs économiques : coût et amortissement des ouvrages. Pour y répondre, ils ont besoin d'un indicateur statistique, représentatif du risque naturel. L'indicateur retenu est la crue décennale, dont le volume et le débit maximal ont une période de retour de dix ans. Son estimation devrait être faite par l'ajustement d'une loi statistique aux valeurs observées.

L'exploitation d'un bassin versant étant généralement limitée à une durée de deux ou trois ans, la chronique des données est trop courte pour permettre cet ajustement. Pour pallier à cela, les hydrologues de l'ORSTOM ont donné une nouvelle approche de la crue décennale : c'est la crue engendrée par une averse de récurrence décennale, toutes les autres conditions étant moyennes sur le bassin (état d'humectation des sols, couvert végétal, etc.) (RODIER et AUVRAY, 1965 ; RODIER et RIBSTEIN, 1986). Après détermination de la pluie

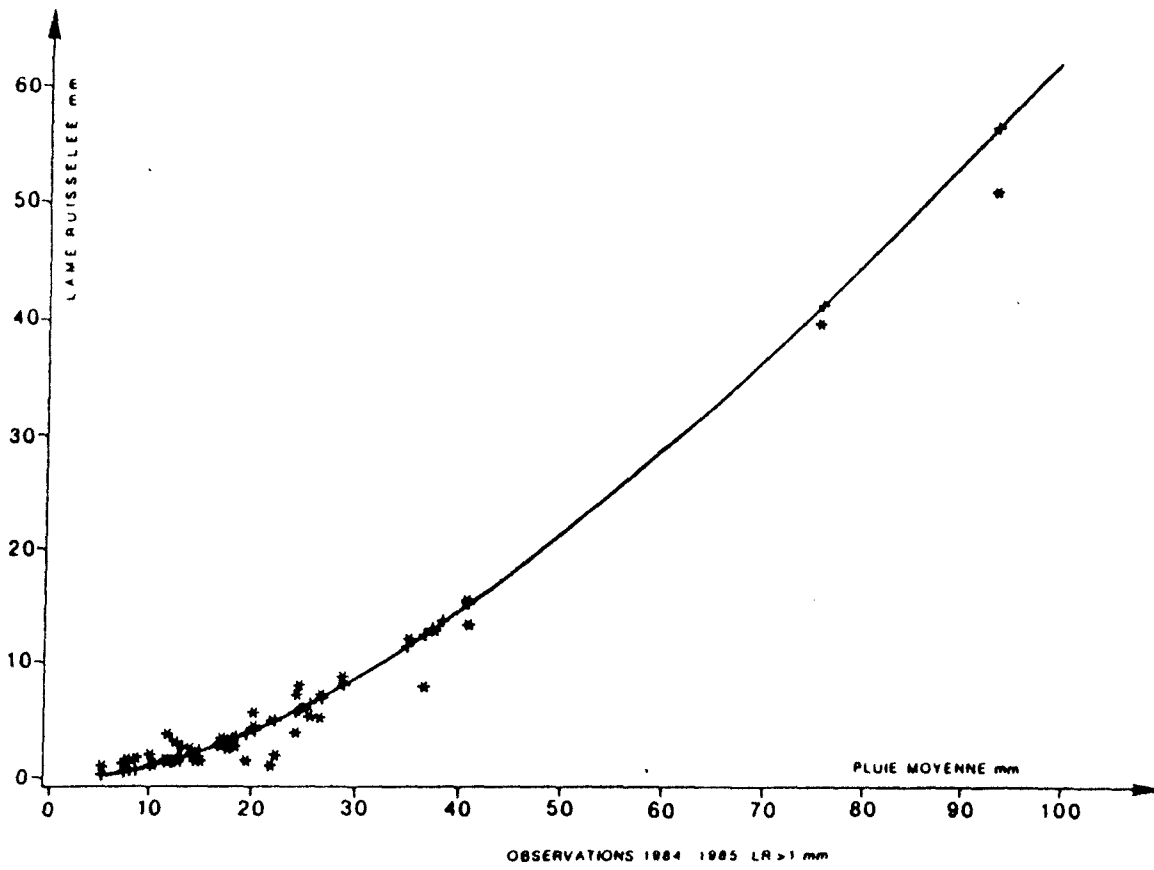


Fig.28 AJUSTEMENT LR = F (P) BV1 MOUDA

décennale à un poste de référence voisin du bassin étudié, on calcule la pluie moyenne de même récurrence, précipitée sur le bassin, par la méthode de l'abattement des pluies (VUILLAUME, 1974).

La fonction de la lame ruisselée (SEGUIS, 1986) s'écrit :

$$L_r = \sqrt{P^2 + a^2} - a$$

avec L_r : lame ruisselée (mm)

P : pluie moyenne sur le bassin (mm)

a : représente la quantité maximale de pluie (mm) perdue pour le ruissellement sur le bassin

La valeur de (a) est obtenue par optimisation sur les couples (L_r , P) pris dans les fortes valeurs, pour avoir une meilleure stabilité.

Le paramètre (a) étant une caractéristique de l'ensemble du bassin nous avons pris comme seuil de sélection des couples (L_r , P) la valeur de $K_r = 20$ %. Deux raisons à cela :

- 1) Cette valeur représente approximativement le coefficient de ruissellement moyen (21 %) des averses ayant pu provoquer un ruissellement généralisé sur le bassin ($L_r > 1.0$ mm).
- 2) Au-delà de ce seuil, le gain de précision sur le calcul de (a) n'est pas suffisant en regard de la diminution de la taille de l'échantillon.

Le calcul nous donne pour (a) une valeur de 41,2 mm avec un écart-type de 3,17 mm (cf. fig. 28).

Pour ce bassin la relation expliquant la lame ruisselée en fonction de la pluie s'écrit donc :

$$L_r = \sqrt{P^2 + 41,2^2} - 41,2 \quad (1)$$

5.3.3.3 Formes des crues et crue-type

L'information pluviographique réduite (deux pluviographes installés sur les sous-bassins n° 2 et 3, dans la partie Nord du bassin principal) ne nous permet pas une analyse précise de la forme et de la répartition spatiale et temporelle des averses.

L'hydrogramme moyen pour ce bassin a été déterminé à partir de cinq crues issues d'averses supposées homogènes. Les critères de sélection des averses ont été :

- une hauteur de lame d'eau précipitée suffisante à chacun des douze postes pluviométriques pour donner lieu à du ruissellement en chaque point du bassin,

- une durée du corps de l'averse responsable observée au pluviographe PG1 ($I > 10$ mm/h) inférieure à la moitié du temps de montée de la crue.

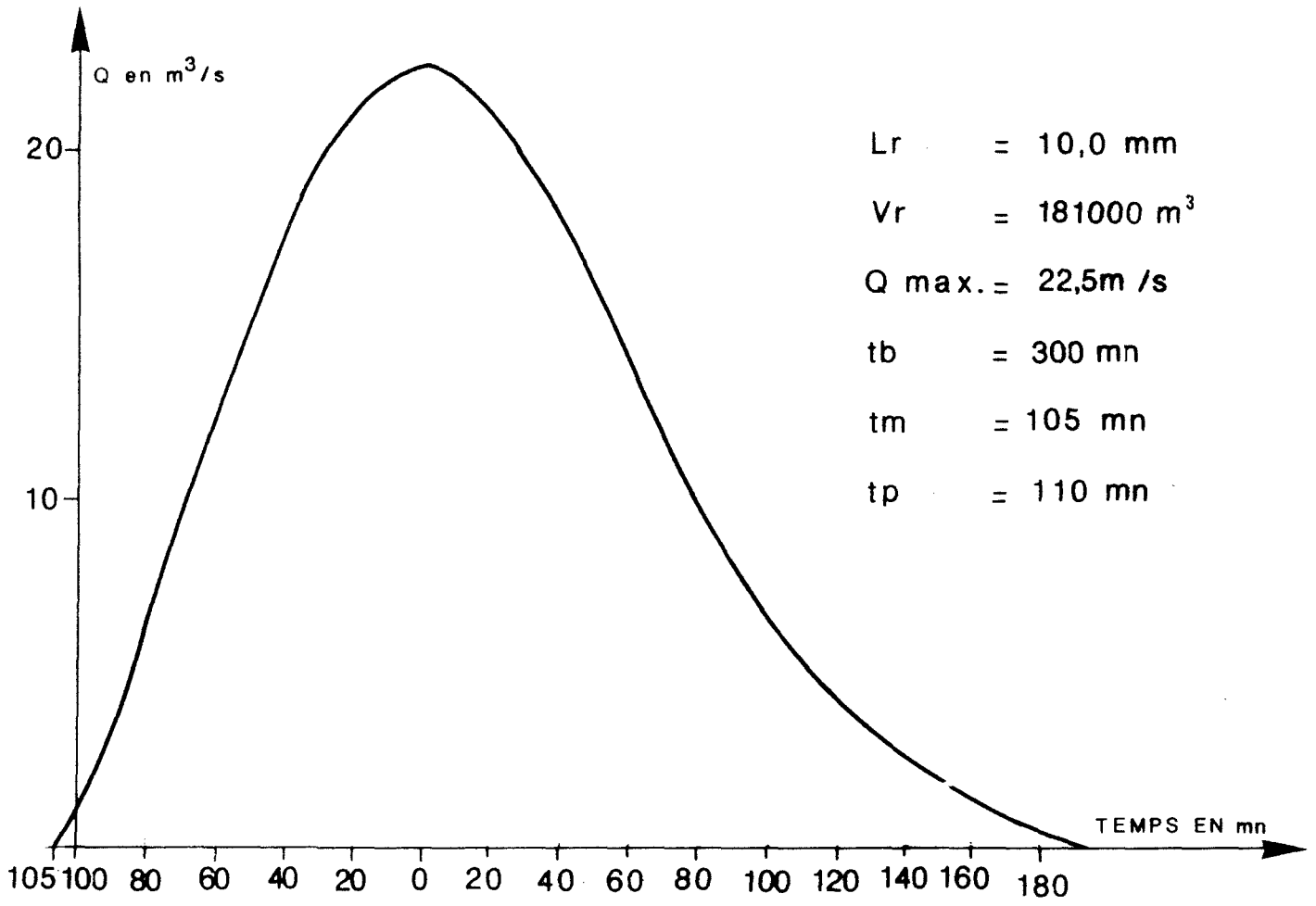


Fig. 29

CRUE TYPE BV1

Les caractéristiques de ces crues sont présentées dans le tableau 19. Les temps de montée varient de 95 à 116 minutes et les temps de base de 240 à 385 minutes.

Les tableaux 20a-b donnent les valeurs des débits instantanés des hydrogrammes de chacune des crues sélectionnées, en prenant pour origine des temps l'instant de passage du maximum. Afin de pouvoir comparer ces données entre elles, chaque hydrogramme a été ramené à un hydrogramme de même volume, pris égal à 181.000 m³, soit une lame ruisselée de 10 mm.

Estimation de la crue type du bassin :

Cette crue est tracée sur la figure 29. Elle est représentée par l'hydrogramme moyen reconstitué à partir des cinq crues sélectionnées dont les caractéristiques principales sont rassemblées dans les tableaux 19 et 20a-b :

Date	P (mm)	Vr (m ³)	Lr (mm)	Tb (mn)	Tm (mn)	Tp (mn)	Qmoy. (m ³ /s)	Qmax. (m ³ /s)	a
15.07.84	13.0	42700	2.36	250	108	105	2.85	6.19	2.17
31.07.84	24.8	129000	7.13	240	95	70	8.96	17.2	1.92
10.07.85*	29.3	208000	11.5	310	115	105	11.8	24.3	2.17
21.07.85	20.3	103000	5.71	385	116	125	4.45	12.6	2.83
01.09.85	38.4	249000	13.8	340	105	95	12.2	26.2	2.15

Tableau 19 - Caractéristiques des crues sélectionnées

Temps mn										
	-100	-80	-60	-40	-20	-10	0	10	20	40
Date										
15.07.84	1.06	7.71	11.2	18.0	23.9	25.7	26.2	25.9	24.5	20.3
31.07.84	0	0.14	10.2	18.5	22.2	23.0	24.1	23.9	23.6	21.3
10.07.85*	3.0	8.61	12.8	17.1	20.2	20.7	21.2	20.4	19.2	16.4
21.07.85	1.8	9.49	13.9	17.9	20.6	21.6	22.1	21.1	19.5	15.6
01.09.85	0.145	6.54	11.8	16.9	18.2	18.8	19.0	18.8	18.7	17.7
Moyenne	1.20	6.50	12.0	17.7	21.0	22.0	22.5	22.0	21.1	18.3

Tableau 20a - Débits instantanés de l'hydrogramme moyen (m³/s)

Temps mn Date	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
15.07.84	14.2	8.48	5.64	3.81	2.84	0	0	0	0	0
31.07.84	18.0	12.9	8.28	5.19	3.51	0	0	0	0	0
10.07.85*	12.2	8.88	6.27	3.65	2.00	1.13	0.783	0	0	0
21.07.85	10.5	6.33	3.69	2.64	2.11	1.67	1.32	1.05	0.879	0.703
01.09.85	14.8	11.3	7.56	5.82	3.49	1.45	1.16	0.945	0.581	0
Moyenne	13.9	9.58	6.29	4.22	2.79	0.85	0.653	0.399	0.292	0.141

*pour la crue du 10.07.85, n'a été prise en considération que la deuxième averse, tombée 4 heures après une pluie de 5 mm, et la crue correspondante.

Tableau 20b - Débits instantanés de l'hydrogramme moyen (m³/s)

Les caractéristiques principales de la crue type du bassin sont :

Lame ruisselée	Lr	=	10.0 mm
Volume ruisselé	Vr	=	181000 m ³
Temps de base	Tb	=	300 mn
Temps de montée	Tm	=	105 mn
Temps de réponse	Tp	=	110 mn
Débit maximum	Qmax	=	22.5 m ³ /s
Coefficient de forme a		=	2.24

Estimation de la crue décennale :

La pluie ponctuelle de récurrence 10 ans est estimée à 105 mm (OLIVRY, 1984 op. cit.). Des études faites par VUILLAUME (1974), il ressort que le coefficient d'abattement pour ce bassin de 18,1 km² est de 0.86. La pluie moyenne de même fréquence sur le bassin sera de 90,3 mm.

A partir de la relation (1), on peut calculer la lame ruisselée, qui sera de 58,0 mm ce qui représente un coefficient de ruissellement de 64 %.

Dans cette zone climatique les fortes averses sont généralement du type "tornado" et peuvent être considérées comme unitaires, sur notre bassin de 18,1 km². On peut donc appliquer à la crue décennale les caractéristiques de l'hydrogramme de crue type défini précédemment : le temps de base est de 300 mn, le temps de montée de 100 mn, le débit moyen ruisselé de 58,3 m³/s et le débit de pointe de crue de 131 m³/s, ce qui correspond à un débit spécifique de 7240 l/s/km².

Le 31 juillet 1985 a été observée une averse de hauteur moyenne sur le bassin égale à 92,8 mm, soit à peu près la hauteur de l'averse décennale. La lame ruisselée correspondante

a été évaluée à 51,2 mm, et le coefficient de ruissellement à 55,2 %. Le débit de pointe a été estimé à 129 m³/s, ce qui correspond à un débit spécifique de 7130 l/s/km². Le temps de base est de 350 mn et le temps de montée de 95 mn.

Nous rappellerons que l'imprécision sur ces mesures est de l'ordre de 20 % étant donné les difficultés rencontrées sur le terrain ce jour-là.

5.3.3.4 Approche du bilan hydrologique

Les termes du bilan mensuel pendant la période d'écoulement, pour les deux années d'observations sont rassemblés dans le tableau 21.

Les notations employées ont la signification suivante :

- P : Pluviométrie moyenne en mm
- Lr : Lamé ruisselée en mm
- Kr : Coefficient de ruissellement mensuel en %
- Le : Lamé écoulée totale en mm
- Ke : Coefficient d'écoulement en %
- De : Déficit d'écoulement en mm.

Date	P (mm)	Lr (mm)	Kr (%)	Le (mm)	Ke (%)	De (mm)
1 Mai	109	12.4	11.4	14.8	13.6	94.2
9 Juin	54.1	(0.60)	(1.10)	(0.72)	(1.3)	(52.8)
8 Juillet	288	(50.1)	(17.4)	(55.2)	(19.2)	(233)
4 Août	128	22.2	17.3	26.2	13.5	115
Sept.	81.7	6.72	8.2	9.61	11.8	72.1
1 Mai	93	4.22	4.5	6.95	7.47	86.1
9 Juin	110	15.4	14.0	22.2	20.2	87.8
8 Juillet	311	113	36.3	119	38.3	192
5 Août	289	71.4	24.7	95.0	32.9	194
Sept.	111	19.4	17.5	32.9	29.6	78.1
1 Mai	16.2	-	-	-	-	-
9 Juin	48.0	0.29	1.00	0.29	1.00	47.3
8 Juillet	285.0	57.8	20.3	66.3	23.3	219.
6 Août	221.0	34.5	15.6	44.7	20.2	176.
Sept.	179.0	34.4	19.2	43.1	24.1	136.
Oct.	23.5	-	-	-	-	-
Nov.	10.0	-	-	-	-	-

(...) : Mois pour lequel le volume de une ou deux crues a été reconstitué

Tableau 21 - Bilan hydrologique mensuel B.V. 1

Le tableau 22 donne les termes du bilan annuel avec les mêmes notations que pour le tableau 21.

Date	P(mm)	Lr(mm)	Kr(%)	Le(mm)	Ke(%)	De(mm)
1984	661	92	14	107	16	554
1985	914	223	24	276	30	638
1986	783	127	16	154	20	629

Tableau 22 - Bilan hydrologique annuel B.V. 1

Les trois années d'observations ont été très différentes du fait du régime pluviométrique, et les autres termes du bilan accusent cet écart. Le coefficient d'écoulement en particulier est en 1984 sensiblement égal à la moitié de celui de 1985. Le terme le moins affecté par la sécheresse de 1984 est le déficit d'écoulement, ce qui est normal, puisque dans un premier temps c'est l'infiltration, donc la recharge en eau du sol qui est satisfaite, le ruissellement n'étant que le "surplus" de précipitation à évacuer. Du point de vue agronomique cela est très important, puisque malgré des pluviométries différentes, les végétaux ont eu globalement les mêmes disponibilités en eau du sol. Malheureusement, comme nous l'avons signalé, cela n'est pas toujours vrai, la reprise par évaporation est très rapide, et une absence de précipitations pendant une dizaine de jours, provoque un stress hydrique dramatique pour les cultures, en particulier dans la première moitié de la saison des pluies.

L'équation du bilan annuel s'écrit :

$$P = Lr + S + Etr$$

Nous avons vu que sur ce bassin, les écoulements s'annulent très rapidement après l'arrêt des pluies. Les réserves sont donc négligeables, et on peut admettre qu'à l'échelle annuelle leur variation est nulle. Dans ces conditions, l'évapotranspiration réelle est donc sensiblement égale au déficit d'écoulement et serait sur ce bassin de l'ordre de 600 mm en année moyenne.

5.3.4 Du m² au km² - Transfert d'échelle

Dans ce chapitre, nous avons étudié à différentes échelles spatiales les facteurs conditionnels du ruissellement et tenté d'établir des relations pour l'expliquer.

L'expérimentation à l'échelle de la parcelle, en mode synchrone, sous pluie simulée a permis l'étude des caractéristiques hydrodynamiques des différents types de sols des bassins. Une fonction de production du ruissellement a été élaborée pour chaque site. Le suivi en mode diachronique,

BASSIN 2 MOUDA HARDE

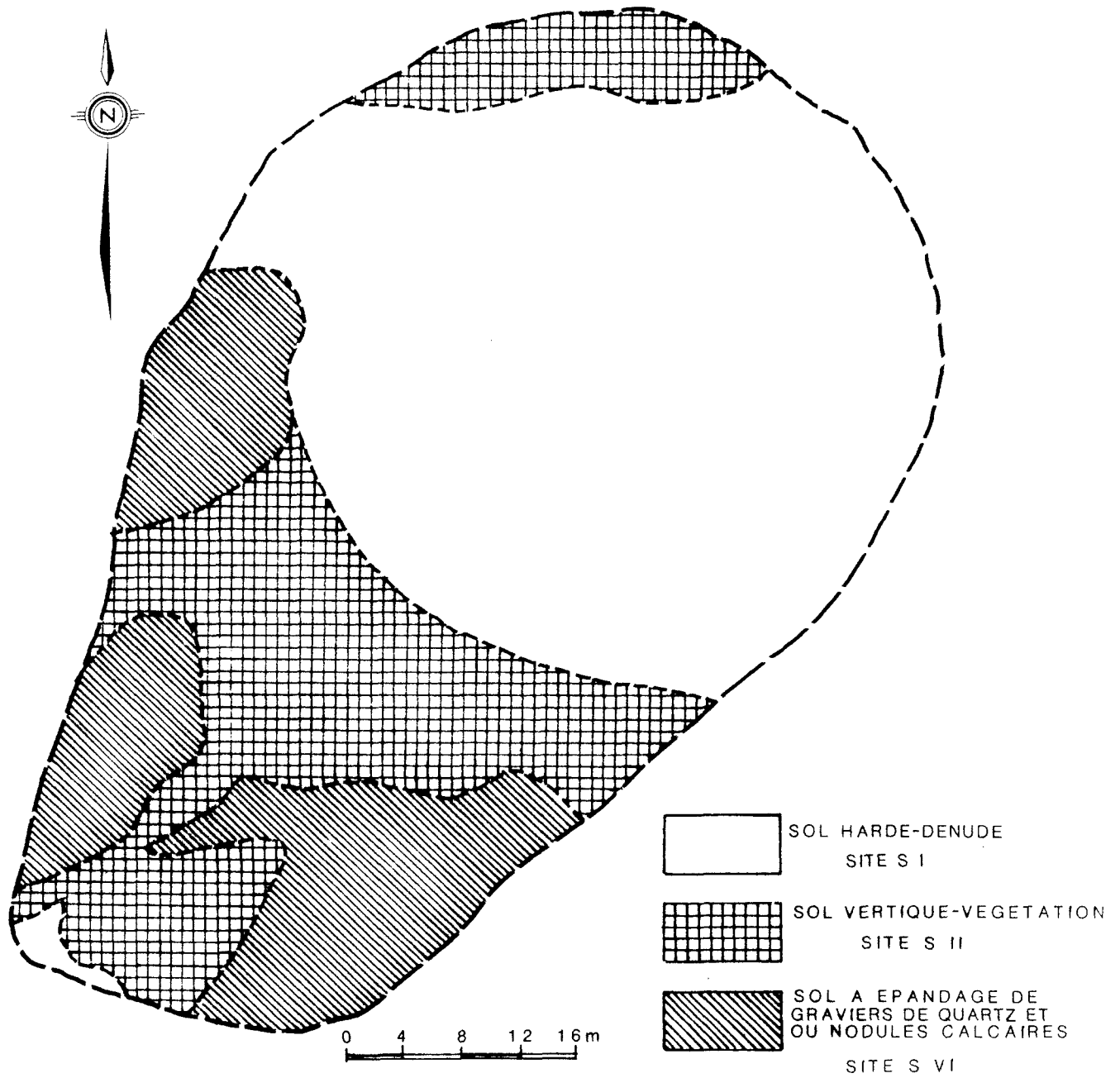


Fig. 30 CARTE DES ETATS DE SURFACE

REPRESENTATIVITE DES SITES DE SIMULATION DE PLUIES

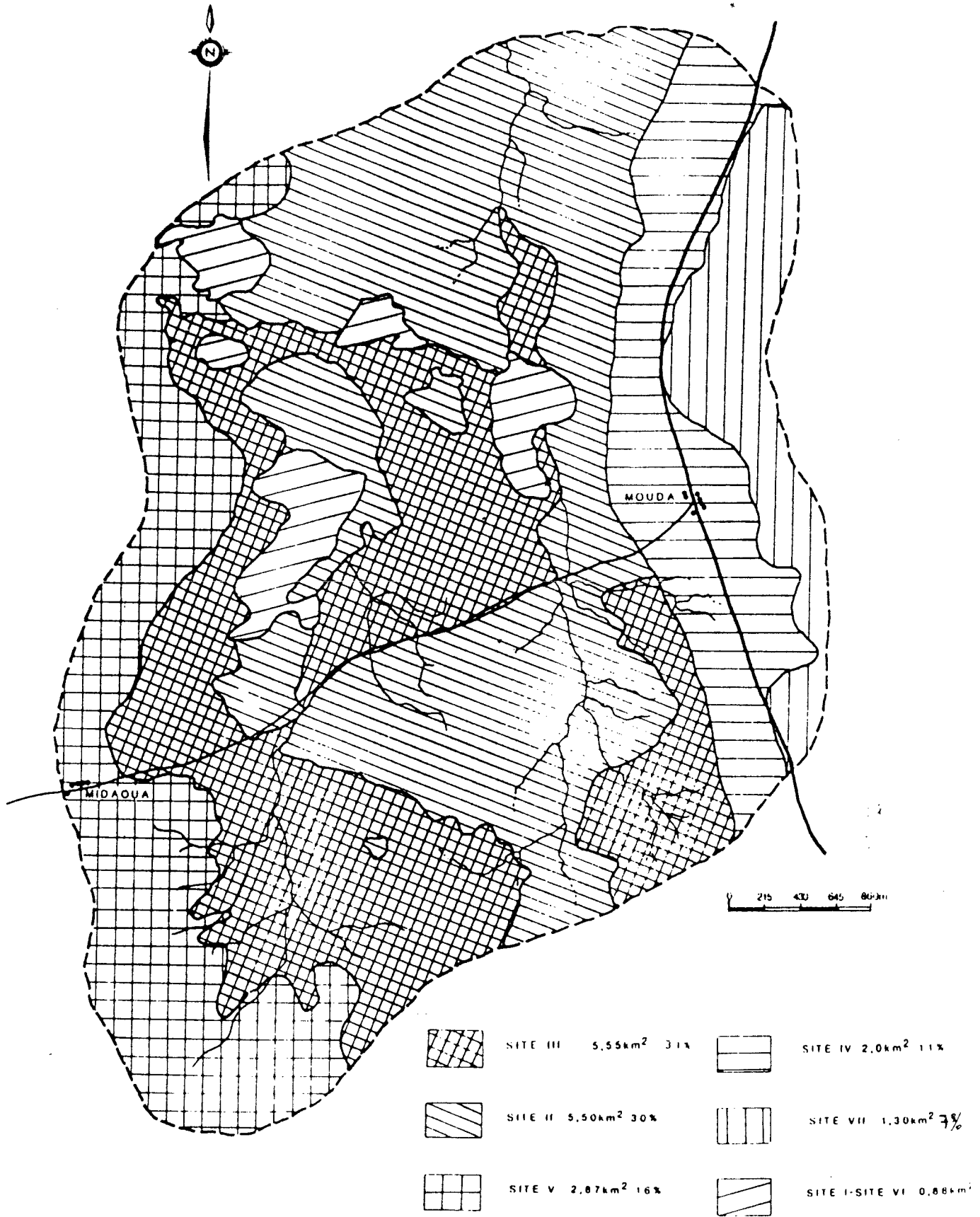


Fig.31 CARTE DES ETATS DE SURFACE B.V.1

REPRESENTATIVITE DES SITES DE SIMULATION DE PLUIE

pendant une saison des pluies, de 3 sites de mesure a mis en évidence les faits suivants :

- 1) la fidélité de la reproduction des averses par le mini-simulateur,
- 2) l'influence de l'état physiologique de la végétation, selon la densité de couverture au sol de celle-ci,

Les observations faites sur les bassins ont permis de quantifier les apports en eaux de ruissellement et de définir les caractéristiques principales des crues.

A cet égard, nous avons vu au cours de l'étude du bassin n° 2, un des apports importants des études sur parcelles avec le minisimulateur de pluie, puisqu'à partir des équations de la lame ruisselée définies sur les sites de simulation, il a été possible de déterminer les volumes ruisselés de chaque partie du bassin.

Nous voyons là une approche intéressante de la détermination des paramètres nécessaires à l'utilisation des modèles basés sur le "concept d'unités participantes" (DA COSTA DOS REIS SILVA, 1986).

La "méthodologie classique" des études hydrologiques se bornait à l'étude sur bassins. Le simulateur a introduit une nouvelle dimension : la parcelle. Il nous reste maintenant à chercher comment passer d'une échelle à l'autre.

5.3.4.1 Représentativité des sites de simulation de pluie

Les documents pédologiques auxquels nous ferons référence dans ce chapitre ont été dressés par R. PONTANIER (1984, op.cit.) pour le bassin n° 2 (S = 3000 m²) (carte des états de surface fig. 30) ; pour le bassin n° 1 (S = 18,1 km²) nous utiliserons "l'esquisse de carte pédologique et des systèmes écologiques" proposée par L. SEYNI-BOUKAR (non publiée) à partir de laquelle nous avons opéré un certain nombre de regroupements des unités définies par l'auteur, pour répondre aux besoins hydrologiques selon les critères définis par C. VALENTIN (1985, op.cit.). Cette carte est représentée fig. n° 31.

Les regroupements par type de sols représentés sont définis comme suit, par ordre décroissant des surfaces occupées.

***Sur le bassin n° 1**

- Réunion des unités 11 et 6, sur la base de l'occupation du sol. L'unité 6 est un vertisol modal, cultivé en sorgho, coton..., l'unité 11 est un vertisol dégradé, encore cultivé ou en jachère des mêmes cultures avec des repousses variées. Le site S III de simulation de pluie est représentatif de ces terres qui occupent 31 % du bassin.

- Unités 2, 9, 10. Vertisols dégradés à épandage de graviers localement, occupation du sol par savane avec des plages de sol nu, végétation arborée à base d'**Acacia nilotica**. Représentées par le site S II de simulation, ces terres occupent 30 % du bassin.

- Unité 14. Sol ferrugineux à charge çailleuse importante. Ces sols sont cultivés en sorgho et coton ; représentés par le site S V ils occupent 16 % de la superficie du bassin.

- Unité 15. Sol fersiallitique intergrade vertisol. S'étendant le long de la route MAROUA-GAROUA ; ce sont les terres les plus cultivées. Le site S IV les représente, et elles occupent 11 % de la surface du bassin.

- Unité 13. Sol fersiallitique, sur colluvions et blocs de roches vertes. Ce sont les collines du flanc Est du bassin qui occupent 7 % de sa superficie et sont représentées par le site S VII.

- Regroupement des unités 1, 4, 12, constituées de sols "hardés" à épandage de graviers et nodules calcaires, sols généralement sans végétation herbacée, quelques arbres : **Acacia seyal**, **Balanites aegyptiaca**... Ces terres sont représentées par le site S VI, et occupent 5 % du bassin.

Tableau récapitulatif

Site représentatif	Superficie concernée	Pourcentage bassin
S III	5.60 km ²	31 %
S II	5.50 km ²	30 %
S V	2.87 km ²	16 %
S IV	2.00 km ²	11 %
S VII	1.30 km ²	7 %
S VI	0.88 km ²	5 %

*Sur le bassin n° 2

Les sols de ce bassin sont représentés par :

Site S I de simulation de pluie, "hardé", sans végétation, à pellicule de battance généralisée, ils représentent 51 % de la superficie du bassin.

Les sites S II et S VI définis précédemment représentent respectivement 28 % et 21 % de ce bassin. La carte des états de surface est présentée fig. 30.

5.3.4.2 Méthode du transfert d'échelle

Nous utiliserons la méthode de transposition des résultats de la parcelle au bassin communément admise par les utilisateurs du simulateur de pluie. CASENAVE (1981-1982 op. cit.), CASENAVE et al. (1984), ALBERGEL (1982-1984 a-b, op. cit.), ALBERGEL et al. (1984-1985, op.cit.), CHEVALLIER (1982), CHEVALLIER et al. (1985), A. GIODA (1983).

Le passage d'une échelle à une autre se fait en deux étapes :

- Détermination d'une fonction de production du bassin. Elle résulte de la somme pondérée des fonctions de production de chaque unité cartographique (représentées par un site de simulation), et est du type :

$$Lr_0 = a Lr_1 + b Lr_2 + \dots + x Lr_n$$

a, b, ..., x représentent les fractions de superficies occupées par les unités 1, 2, ..., n.

- Détermination d'une fonction de calage. A l'échelle de la parcelle, un certain nombre de paramètres ne sont pas pris en considération et ceci implique le passage par une fonction de calage des lames ruisselées calculées sur les lames ruisselées observées.

Cette fonction de calage représente en particulier les paramètres non pris en compte suivants :

- l'effet de pente quasi-inexistant à l'échelle de la parcelle,
- l'état physiologique de la végétation : sèche pendant les expérimentations sous pluie simulée, active en saison des pluies pendant le suivi du bassin versant.
- la répartition spatiale des sols représentés par les parcelles, par rapport au réseau de drainage. Les eaux qui ruissellent en amont peuvent s'infiltrer à l'aval, où inversement, de l'eau infiltrée dans une unité située en amont, peut après un cheminement hypodermique participer au ruissellement sur une unité de sol en aval.
- l'hétérogénéité spatiale de l'averse sur le bassin. En effet, on utilise comme variable d'entrée du modèle la pluie moyenne sur le bassin le but à atteindre étant entre autres d'utiliser la pluviométrie à un poste de référence, pas forcément situé sur le bassin étudié, mais à proximité.
- les écarts dus à la méthode de mesure de la pluie, qui, nous l'avons vu ne sont pas négligeables dans cette région.

La fonction de calage du bassin est la droite moyenne entre les droites de régression.

$$Lr_e = f(Lr_0) \quad \text{et} \quad Lr_0 = f(Lr_e)$$

Application de la méthode au bassin versant n° 2 (S = 3000 m²)

La fonction de production du bassin s'écrit :

$$Lr_0 = 0,51 Lr_1 + 0,28 Lr_2 + 0,21 Lr_3$$

avec :

$$Lr_1 = 0,910 Pu - 4,21$$
$$Lr_2 = 0,758 Pu + 0,146 IK - 0,207 CV - 4,57$$
$$Lr_3 = 0,661 Pu + 0,197 IK - 0,292 CV - 5,47$$

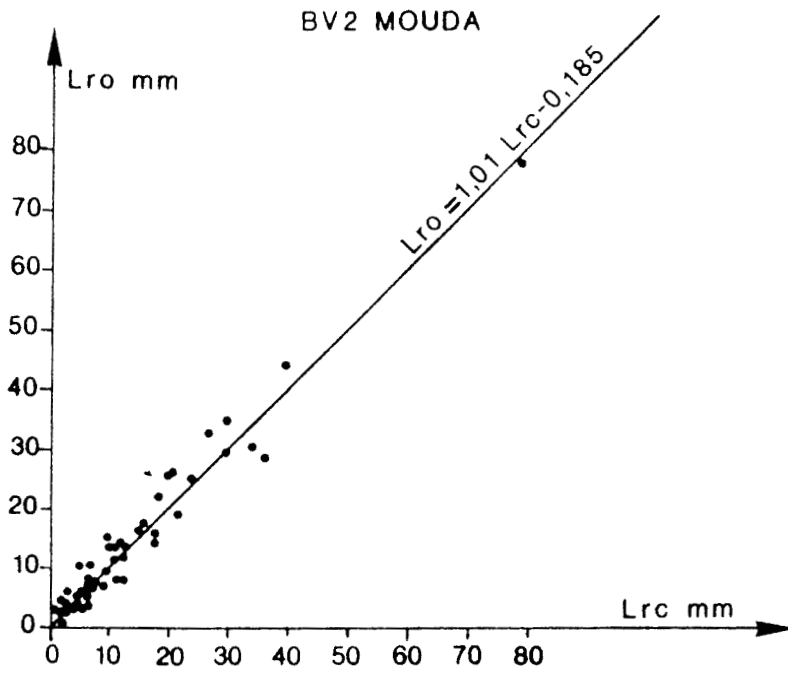


Fig. 32 FONCTION DE CALAGE-MODELE SIMULATEUR P150

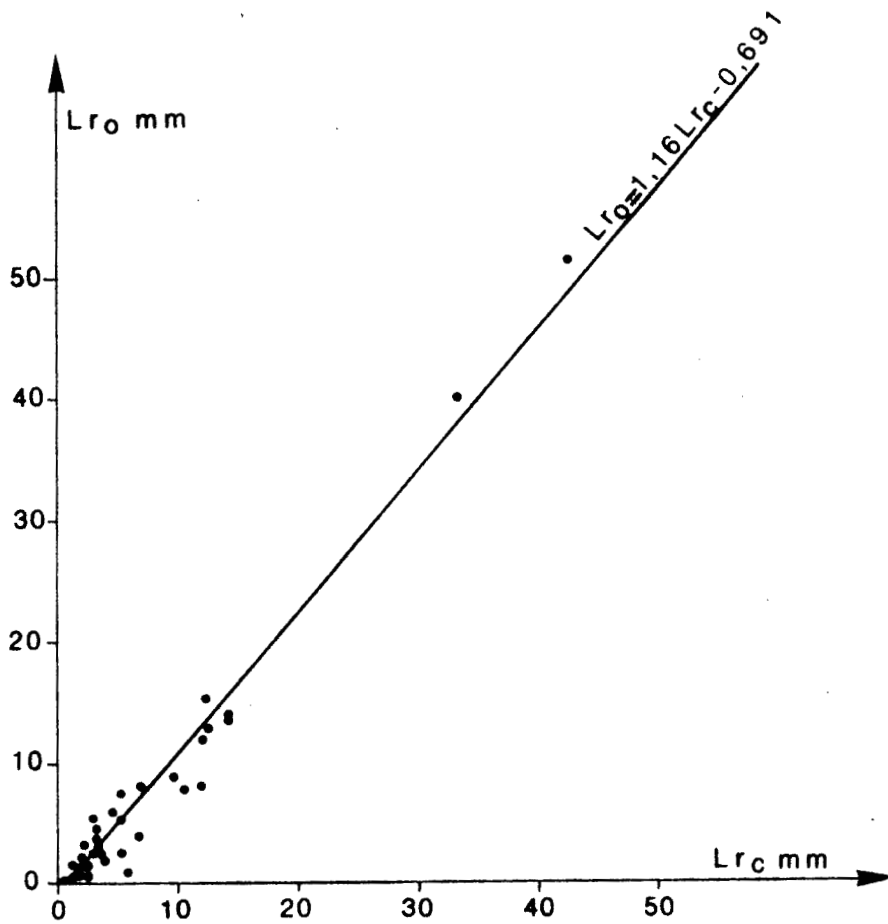


Fig. 33 BV1 MOUDA FONCTION DE CALAGE

Pour toutes les pluies naturelles observées sur le bassin, ayant provoqué du ruissellement, nous avons reconstitué les lames ruisselées à partir des valeurs de Pu (Pluie moyenne), IK (Indice d'antécédence des pluies), CV (Indice de couvert végétal), et de la fonction de production du bassin.

La fonction de calage du bassin est (fig. 32) :

$$Lr_6 = 1,01 Lr_2 - 0,185$$

Application de la méthode au bassin versant n° 1 (S = 18,1 km²)

Reconstitution des lames ruisselées observées

Sur ce bassin, la fonction de production s'écrit :

$$Lr_6 = 0,30r_2 + 0,31Lr_3 + 0,11Lr_4 + 0,16Lr_5 + 0,05Lr_6 + 0,07Lr_7$$

avec :

$$\begin{aligned} Lr_2 &= 0,758 Pu + 0,146 IK - 0,207 CV - 4,57 \\ Lr_3 &= 0,575 Pu + 0,264 IK - 17,0 \\ Lr_4 &= 0,403 Pu + 0,139 IK - 0,230 CV - 6,13 \\ Lr_5 &= 0,583 Pu + 0,205 IK - 0,135 CV - 8,17 \\ Lr_6 &= 0,661 Pu + 0,197 IK - 0,292 CV - 5,47 \end{aligned}$$

La fonction de calage sur le bassin est :

$$Lr_6 = 1,16 Lr_2 - 0,691 \quad r^2 = 0,96$$

La figure 33 montre la corrélation entre les lames ruisselées calculées après application de la fonction de calage.

5.4 Etude de la sensibilité des sols à l'érosion hydrique

5.4.1 Les résultats à l'échelle de la parcelle

La sensibilité des sols à l'érosion hydrique est assimilée, à cette échelle spatiale, à la mesure de "l'érosion" sur une surface élémentaire de 1 m². Il est évident que dans ce cas, on ne prend pas en compte les problèmes liés à la longueur des pentes, concentration du ruissellement, etc. Aussi, n'est-il pas raisonnable de parler d'érosion. VALENTIN (1981) a introduit pour traduire ces phénomènes à l'échelle des petites parcelles la notion de "détachabilité, définie par l'auteur comme "l'aptitude d'un sol à être fractionné en particules susceptibles d'être transportées".

Pour une averse donnée, la quantité de terre recueillie dans la cuve réceptrice des eaux de ruissellement et dans le canal collecteur au débouché de la parcelle représente donc les particules de terre qui ont été arrachées sous l'impact des gouttes de pluie, et transportées. La part du ruissellement dans la détachabilité étant négligeable, puisque tout au plus a-t-on pu observer quelques filets d'eau et un semblant de ruissellement en nappe dans les 20 centimètres aval de certaines parcelles dénudées.

N° Parc.		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
83	A Lr	115	-	-	105	93.2	-	35.3	31.4	55.8	40.6	46.5	66.8	56.0	76.4	63.8	-	-	-
	V CV	0	-	-	5	25	-	5	5	5	5	5	5	10	1	40	-	-	-
	R Lab	0	-	-	0	0	-	p3	p2	0	p3	p2	0	0	p2	0	-	-	-
	Er	789	-	-	482	218	-	187	210	103	513	404	178	93	391	56.0	-	-	-
84	J Lr	84.1	40.2	82.9	40.0	21.4	72.9	7.90	21.0	19.7	26.1	19.6	45.7	47	25.3	54.5	-	-	-
	A CV	0	0	0	80	20	0	5	5	5	0	0	0	5	5	5	-	-	-
	N Lab	0	p5-p6	0	0	p5-p6	0	p5-p6	0	0	p5-p6	0	0	0	p5-p6	0	-	-	-
	Er	549	383	616	185	407	637	114	140	108	499	204	449	134	306	170	-	-	-
84	O Lr	165	155	171	126	47.1	136	75.2	69.5	66.3	3.90	4.9	50.2	56.7	85.9	122	112	134	114
	C CV	0	0	0	35	75	0	40	50	75	30	60	10	50	50	20	10	2	10
	T Lab	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Er	336	336	220	96.2	75.4	431	59.8	13.4	32.4	9.6	51.6	71.8	39.6	68.4	140	142	352	196
85	S Pu	708	708	-	548	708	678										708	708	708
	a Rusa	349	349	-	269	349	331										349	349	349
	i Lr	531	507	-	100	280	335										394	419	367
	s CV	0	0	0	65	40	5										5	10	20
	o Lab	0	0	0	0	0	0										0	0	0
n Er	2960	2100	-	329	629	2203										992	1663	1034	

Campagne n°1 : Pu = 137 mm ; Rusa = 117
 Campagne n°2 : Pu = 117 mm ; Rusa = 108
 Campagne n°3 : Pu = 204 mm ; Rusa = 149

CV: indice de couvert végétal
 Lab: parcelle labourée avant la pluie n
 Er: mesure de la détachabilité

Tableau 23 : Mesure de la détachabilité sur parcelles

Le tableau 23 présente par parcelle et par campagne de simulation les résultats des mesures de détachabilité globale (matière en suspension plus dépôts à la sortie des parcelles). Sont également rappelées les données concernant : la pluie, la lame ruisselée, l'état de surface, et l'indice d'agressivité de WISCHMEIER. Les mêmes résultats sont présentés pour les sites I-II-VI, suivis en conditions naturelles, exception faite des résultats de l'averse du 31 juillet 1985, étudiée plus loin.

Il n'a pas été possible de dégager de relation globale pour expliquer l'érosion, et les tentatives faites site par site n'ont pas été plus concluantes.

Malgré tout, ces résultats sont riches d'enseignements.

La première série de remarques sera liée à la dimension "Temps", nous rappellerons que :

La campagne 1 a eu lieu en fin de saison sèche,
La campagne 2 a eu lieu en milieu de saison sèche,
La campagne 3 a eu lieu en début de saison sèche.

Pour les parcelles P1 et P3 du site I, et pour la parcelle P6 du site II, qui ont présenté des états de surface identiques lors de chaque expérimentation, on voit que les quantités de terre érodée décroissent de la première à la troisième campagne. Comme les valeurs d'agressivité des pluies sont équivalentes pour les deux premières et plus fortes pour la dernière campagne, on se serait attendu à une augmentation de l'érosion.

L'explication peut être la suivante : tout au long de la saison sèche, l'érosion éolienne et les dépôts de matières transportées par le vent sont importants, et ont tendance à se rassembler le long des parois délimitant les parcelles expérimentales. En particulier le rôle de l'Harmattan, vent venant du désert qui souffle de janvier à mars, très chargé en particules fines qui se déposent à la surface du sol, est essentiel. Ces particules sont facilement mobilisables par les premières averses, et expliquent les résultats trouvés. La part de matière apportée par le vent, et de matière en place détachée par l'action des pluies est quasi impossible à déterminer. Aussi faut-il agir avec la plus grande prudence pour interpréter ces résultats (nous avons déjà noté l'impossibilité de trouver des relations satisfaisantes pour expliquer ces valeurs), mais cela n'empêche aucunement la comparaison des comportements globaux des parcelles les unes par rapport aux autres, en supposant l'uniformité des dépôts éoliens.

La deuxième remarque liée au facteur temps portera sur les très fortes valeurs de quantité de terre exportée au cours de la saison des pluies, en comparaison de celles exportées sous pluies simulées. Les averses simulées présentant généralement des indices d'agressivité supérieurs à ceux des averses naturelles, devraient à l'inverse de ce qui a été observé être plus érosives.

La différence de comportement des parcelles en conditions naturelles doit s'expliquer par la succession des cycles "humectation-dessiccation".

Les autres remarques importantes concernant l'ensemble des parcelles porteront sur l'aspect des états de surface et de l'occupation du sol.

a) Le rôle de la végétation

C'est de loin le facteur conditionnel le plus important, l'érosion pouvant être diminuée dans un rapport de 1 à 200 (certains auteurs proposent le rapport 1 à 1000), quand on fait varier le couvert d'une parcelle de 100 à 0 %, toutes autres données restant constantes.

La végétation joue le rôle d'écran, brise l'énergie cinétique des gouttes de pluie, et ainsi annule l'effet "splash" et le rejaillissement. Cet effet protecteur est très net sur nos parcelles, où les quantités de terre "détachée" sont, pour des couverts de 50 à 60 %, de l'ordre du quart des valeurs obtenues sur la parcelle nue.

b) Effet du travail du sol

On constate que la labour augmente la sensibilité des sols à l'érosion, même s'il limite le ruissellement. En particulier, on remarquera l'extrême fragilisation des vertisols cultivés (site S IV) et des ferrugineux (site S V) due au binage. Ainsi, la parcelle S IV P 10, "labourée" avant les pluies p3, p4, p6 a été "érodée" de 1012 grammes, pour une série de pluies présentant un indice d'agressivité $R = 215$, alors que dans les mêmes conditions la parcelle témoin S IV P 12 s'érodait de 627 grammes, soit environ 40 % de moins, bien que présentant un coefficient de ruissellement supérieur de 60 %. Les résultats sont semblables sur le site S V.

A partir des résultats expérimentaux obtenus sur parcelles, du point de vue de la sensibilité à l'érosion hydrique, on classera les sols testés de la manière suivante en allant des moins sensibles aux plus sensibles :

- 1) les vertisols modaux en bon état, à égalité avec des sols ferrugineux non cultivés,
- 2) les jachères de coton et les vertisols dégradés,
- 3) les sols en voie de hardéisation. Cette extrême fragilisation des "hardés" a été particulièrement signalée par BRABANT et GAVAUD (1985 op.cit.) dans l'Atlas des Sols et Ressources en Terres du NORD-CAMEROUN, où les auteurs mettent en garde les aménagistes contre l'extension de ce phénomène de hardéisation des terres due au défrichement, surpâturage, etc.
- 4) les sols ferrugineux cultivés.

Le cas particulier de la pluie du 31 juillet 1985

Nous avons vu au chapitre précédent, que cette averse très violente, avait une période de retour de 10 ans. Un indice d'agressivité de WISCHMEIER de : $R = 189$, représentant le tiers de la valeur de l'indice global sur l'année, confirme le caractère exceptionnel de cette précipitation.

Les mesures sur parcelles ont été très difficiles, les dispositifs de mesure mis en place s'étant avérés sous-dimensionnés pour un tel événement pluvieux.

Nous avons tout de même récupéré 789 grammes de terre à l'exutoire de la parcelle S I P2, ce qui représente 7,9 tonnes/hectare ; 607 grammes à la parcelle S VI P21. Ces résultats qui peuvent être sous-estimés étant donné les débordements observés sur certaines parcelles, représentent environ 37 % de la masse totale de terre érodée pendant le reste de la saison. Ceci montre que si pratiquement toute averse entraîne des phénomènes d'érosion, celle-ci avance par seuils brutaux lors d'événements pluvieux violents et présente souvent des aspects catastrophiques tant pour l'agriculture que pour des ouvrages d'art par exemple.

Sur les parcelles S II P4 et S II P5 la masse de terre recueillie n'est que de 55 et 58 grammes, mettant en évidence le rôle protecteur de la végétation.

5.4.2 Résultats à l'échelle du "champ" (BV 2, S = 3000 m²)

Les deux composantes principales de l'érosion hydrique (action de la pluie plus action du ruissellement) sont prises en compte à ce niveau d'échelle spatiale.

La mesure de l'érosion à l'exutoire du bassin est assurée par la pesée des sédiments déposés dans la fosse et par la prise d'échantillons des matières en suspension lors des débordements au déversoir, pour la saison des pluies 1985. Au cours de cette campagne, l'individualisation des mesures de transports solides par averse, a permis la recherche d'une fonction explicative de l'érosion.

Pour la campagne 1984, la mesure des sédiments dans la fosse a été faite de façon moins systématique, cumulant les dépôts apportés par une à dix crues. De plus, aucune mesure des matières en suspension exportées lors du fonctionnement du déversoir n'a été faite.

Les résultats

Le dispositif d'appréciation de l'érosion sur quatre placettes de 16 m² représentatives des unités pédologiques du bassin a été bien observé en 1984. En 1985 la placette E₂ a été détruite par les bergers. Les résultats des mesures de la campagne 1984 donnent une estimation raisonnable de l'érosion pour cette année-là : 6560 kg, pour 5020 kg de sédiments stockés dans la fosse, auxquels il faut ajouter les matières en

suspension exportées, qui représenteraient donc dans ce cas environ 25 % de l'érosion globale.

Le tableau 24 présente les résultats de cette expérimentation pour les deux campagnes.

N° parcelle Unité Pédo	Superficie représentée (m ²)	Densité appa- rente	Année	Erosion moyenne (mm)	Masse sédim. (kg)	Erosion spécif. T/ha
E1 graviers de quartz	416	1,5	1984	4,1	2580	62,0
			1985	0,9	562	13,5
E2 surface battante	2358	1,6	1984	0,9	396	14,4
			1985	(0,6)	(2100)	8,9
E3 alluvial vertique	16	1,5	1984	2,7	65	40,6
			1985	5,7	136	85,0
E4 nodules calcaires	200	1,5	1984	1,7	514	25,7
			1985	1,7	514	25,7

Tableau 24 - Erosion sur placette

La comparaison site par site pour les deux années est très intéressante, et met bien en évidence le rôle protecteur du couvert végétal. En particulier sur la placette E₁, représentative des zones à épandage de graviers de quartz, qui est restée dénudée toute la saison 1984, l'érosion a été environ quatre fois plus importante cette année-là qu'en 1985, où ces zones étaient protégées par la végétation dès le mois de juillet.

Sur la placette E₄, les résultats sont identiques pour les deux campagnes, le couvert végétal étant lui aussi sensiblement le même.

Le résultat sur la placette E₃ en 1985, nettement plus fort que celui de 1984, alors que le couvert herbacé était supérieur en 1985 peut s'expliquer de la façon suivante :

Cette placette est située en tête du talweg, dans une zone où les eaux de ruissellement du bassin amont se concentrent, et dans ce cas, l'érosion est provoquée par l'énergie du ruissellement, plus que par l'énergie de la pluie. La lame écoulee en 1985, étant supérieure de 80 % à la lame écoulee en 1984, il est normal que sur cette zone l'érosion soit plus forte en 1985.

La placette E_m n'a pu être suivie pendant la deuxième campagne. Toutefois, si l'on admet l'adéquation de ce dispositif pour estimer l'érosion (bons résultats en 1984), par différence entre l'érosion globale mesurée à l'exutoire et le cumul des valeurs mesurées sur les autres sites, la partie du bassin représentée par cette placette, se serait érodée de 2100 kg, ce qui équivaut à une lame de terre de 0,56 mm. Cette valeur est vraisemblable et confirmerait le rôle protecteur de la végétation.

Les résultats des mesures à la fosse sur les trois campagnes sont présentés mensuellement dans le tableau 25.

	Mois	P(mm)	Hr(mm)	Ero. T	Ero. T/ha
	Mai	104	(29.5)	[1.38	[4.60
1	Juin	50.6	17.5		
9	Juillet	244	132	2.32	(7.73)
8	Août	154	70.8	0.97	3.23
4	Sept.	71.5	24.4	0.35	1.15
	TOTAL	624	274	5.01	16.7
	Mai	78.4	26.5	0.20	0.68
1	Juin	119	76.3	0.64	2.14
9	Juillet	346	215	1.58	5.27
8	Août	238	131	0.66	2.19
5	Sept.	141	48	0.18	0.60
	TOTAL	922	497	3.26	10.9
	Mai	16.2	-	-	-
1	Juin	61.0	(18.9)	-	-
9	Juillet	225.	84.6	0.379	1.27
8	Août	245	87.3	0.419	1.40
6	Sept.	182	88.6	0.044	0.15
	TOTAL	728.	279.4	0.842	2.82

Tableau 25 - Erosion sur le bassin versant n° 2

N.B. Les valeurs de l'érosion pour 1984 ne représentent que les dépôts dans la fosse à sédiments, pour 1985 il s'agit de l'érosion totale, les dépôts dans la fosse étant de 2350 kg cette année-là.

Ces résultats mettent en évidence les faits suivants :

- 1) L'aptitude de la végétation à protéger le sol contre l'érosion hydrique. En effet, si l'on compare les quantités de sédiments érodés en 1985, pour une lame d'eau écoulée supérieure d'environ 80 % à celle de 1984, l'érosion a été diminuée de moitié grâce à l'abondance du couvert végétal. Ceci est encore vérifié en 1986.
- 2) Les valeurs fortes de la dégradation spécifique, qui a été estimée à 2100 T/km²/an en année à faible hydraulicité (1984), dont 1670 T/km²/an pour les dépôts dans la fosse, et à 1100T/km²/an en année humide (1985).
- 3) Pour les trois années d'observations, la moitié environ de l'érosion se produit en juillet, mois le plus pluvieux, et où la végétation n'a pas encore atteint un stade de développement suffisant pour protéger efficacement les terres.
- 4) L'individualisation des mesures par crues en 1985 met en évidence la violence des phénomènes érosifs, qui sont engendrés principalement par les événements pluvieux les plus intenses. On observe que pour l'année considérée, les cinq plus fortes averses ont provoqué 50 % de l'érosion annuelle.

Recherche des facteurs explicatifs de l'érosion sur le BV n° 2

A partir des résultats de la campagne 1985, nous avons tenté d'établir une relation entre l'érosion sur le bassin et certains de ces indices pris séparément ou combinés entre eux :

- la lame ruisselée,
- l'indice R_{UGA} de WISCHMEIER,
- un indice $P \times I_{10}$ (Pluie moyenne et intensité maximale en 10 mn),
- indice de couvert végétal CV.

Il ressort de cette étude que la relation la plus apte à chiffrer l'érosion totale pour la saison fait intervenir la lame ruisselée et l'indice de couvert végétal, elle s'écrit :

$$E_t = 7,84 Lr - 1,66 CV + 13,6$$

Avec un coefficient de détermination $r^2 = 0,894$ cette relation est très significative, mais établie sur les résultats d'une seule campagne de mesure, elle n'autorise une estimation de l'érosion que pour des conditions pluviométriques et un état du couvert végétal proche de ceux observés cette saison.

En effet, un régime pluviométrique très différent entraînera des modifications importantes dans le cycle de la végétation, dont nous connaissons le rôle essentiel. Ceci est vérifié pour l'année 1984, où la tentative de calcul de l'érosion à partir de l'équation ci-dessus a échoué.

Des campagnes répétées, avec des états de couvert végétal différents, permettraient certainement d'établir une relation plus stable.

5.4.3 Résultats à l'échelle du bassin versant n° 1 (18,1 km²)

L'érosion hydrique sur ce bassin est de deux formes :

1) érosion en nappe et rigoles provoquée par l'énergie cinétique des gouttes de pluie : effet "splash", et les filets d'eau de ruissellement sur le sol.

2) érosion par ravinement, forme accentuée de l'érosion en rigoles. Elle est due à la concentration des eaux de ruissellement qui, ayant acquis une énergie suffisante, entraînent des couches de sol fragilisés par la succession des cycles humectation-dessiccation. Ce phénomène est important sur le bassin et lui confère le caractère de "bad-lands" mentionné dans la description pédologique.

La mise en place de jalons dans un certain nombre de ravines a permis de constater que le front régressif de celles-ci peut progresser de manière très sensible (trois mètres) au cours d'une saison.

Aucune mesure spécifique relative à cette forme d'érosion n'a été faite. Les résultats présentés ici ne concernent que les matières en suspension mesurées à la station de jaugeage.

Nous présentons ici le bilan mensuel des matières en suspension à la station de jaugeage pour 1985 et 1986.

Mois	Pm (mm)	Lr (mm)	Erosion (tonnes)	Eros.spéc. T/km ²
Mai	69.2	4.2	311	17
1 Juin	119	15.4	1790	98
9 Juillet	286	97.1	4612	255
8 Août	230	71.4	2220	123
5 Septembre	128	19.4	527	29
TOTAL	842	208	9460	523
Mai	16.2	-	-	-
1 Juin	48.0	0,29	-	-
9 Juillet	285	57,9	3375	187
8 Août	221	34,6	1338	73.9
6 Septembre	179	34,4	1215	67.1
TOTAL	749,2	(127,2)	(5928)	(328)

Tableau 26 - Bilan mensuel des matières en suspension, Bassin Versant n° 1 (1985 - 1986)

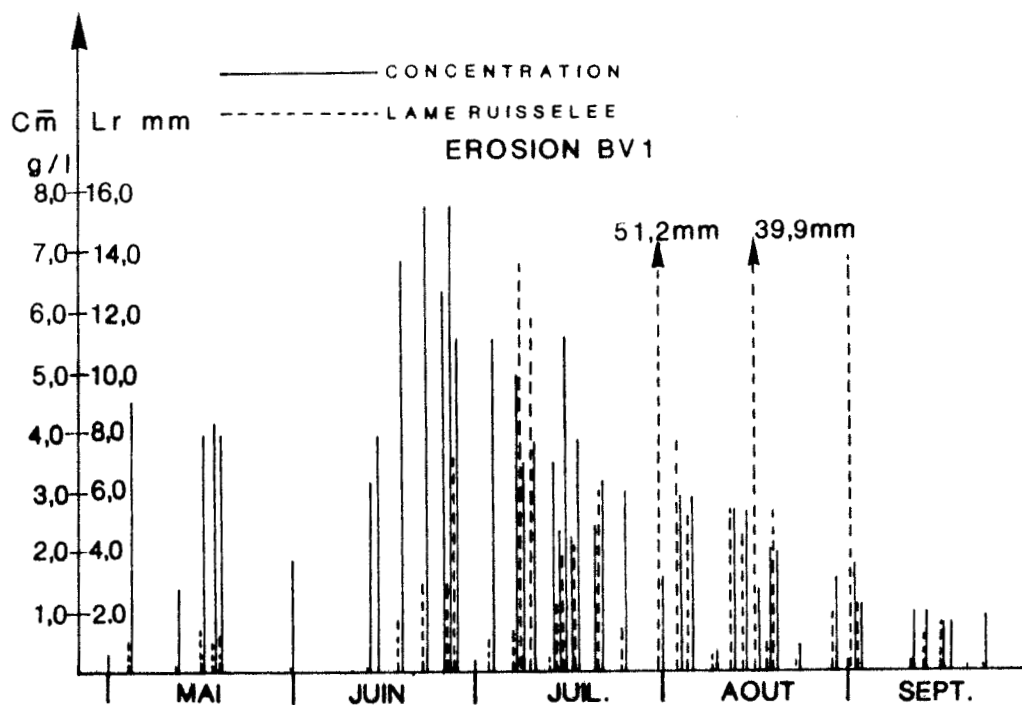


Fig.34 EVOLUTION DES CONCENTRATIONS MOYENNES EN 1985

La répartition dans le temps des tonnages de matières érodées est la même que sur le bassin n° 2. Viennent en tête le mois de juillet avec près de 50 % de l'érosion annuelle, puis les mois d'août et juin. Ce dernier, avec une lame écoulée égale à 20 % de la lame écoulée en août, a vu les sols du bassin s'éroder d'une valeur égale à 75 % de l'érosion du mois d'août en 1985. ; ceci est encore vérifié en 1986.

Le tonnage global de matières transportées est très élevé: 9460 tonnes, ce qui représente une érosion spécifique de 523 T/km²/an.

Cette valeur est à rapprocher de celles relevées sur d'autres bassins de la région : OLIVRY (1976) a fait une synthèse des résultats de transports solides en suspension au CAMEROUN, et a retenu les résultats suivants : 290 T/km²/an pour le mayo TSANAGA à MOKOLO, (bassin au relief très marqué, de superficie S = 48,9 km²) - 640 T/km²/an sur le mayo KERENG (S = 4.0 km²) dans la région de FIGUIL, située plus au sud. Cette valeur représente l'érosion globale, la part du charriage comptant pour les 2/3, (PELLERAY, 1957), les mesures effectuées sur d'autres bassins donnent des valeurs comprises entre 200 et 250 T/km²/an.

Avec une valeur de l'ordre du double de celles observées dans la région, du point de vue de l'érosion, on peut considérer que ce bassin est représentatif des zones à forte pression anthropique, aggravée depuis quelques années par la dégradation du régime pluviométrique.

L'évolution de l'érosion au fil de la saison des pluies peut être perçue avec plus de finesse en analysant l'évolution des concentrations moyennes par crue, ce qui est représenté sur la figure 34.

On voit très nettement que la saison pluvieuse peut être divisée en trois parties :

- de début à mai à début juin

Les valeurs assez fortes de concentrations sont le fait du "nettoyage" des sols, non protégés par la végétation quasi-inexistante à cette date.

- de mi-juin à mi-juillet

On pourrait s'attendre à une diminution des concentrations, or, c'est le phénomène inverse qui est observé, avec les valeurs moyennes de l'ordre de 7 g/l, auxquelles correspondent des maxima de 12 à 14 g/l. A ce moment de la saison, débutent réellement les travaux agricoles, les terres humidifiées sont labourées et les semis mis en place. Les résultats sur parcelles ont montré l'extrême fragilisation des sols due au labour, cela est vérifié à l'échelle du bassin et explique les résultats qu'on a obtenus notamment dans la deuxième quinzaine de juin.

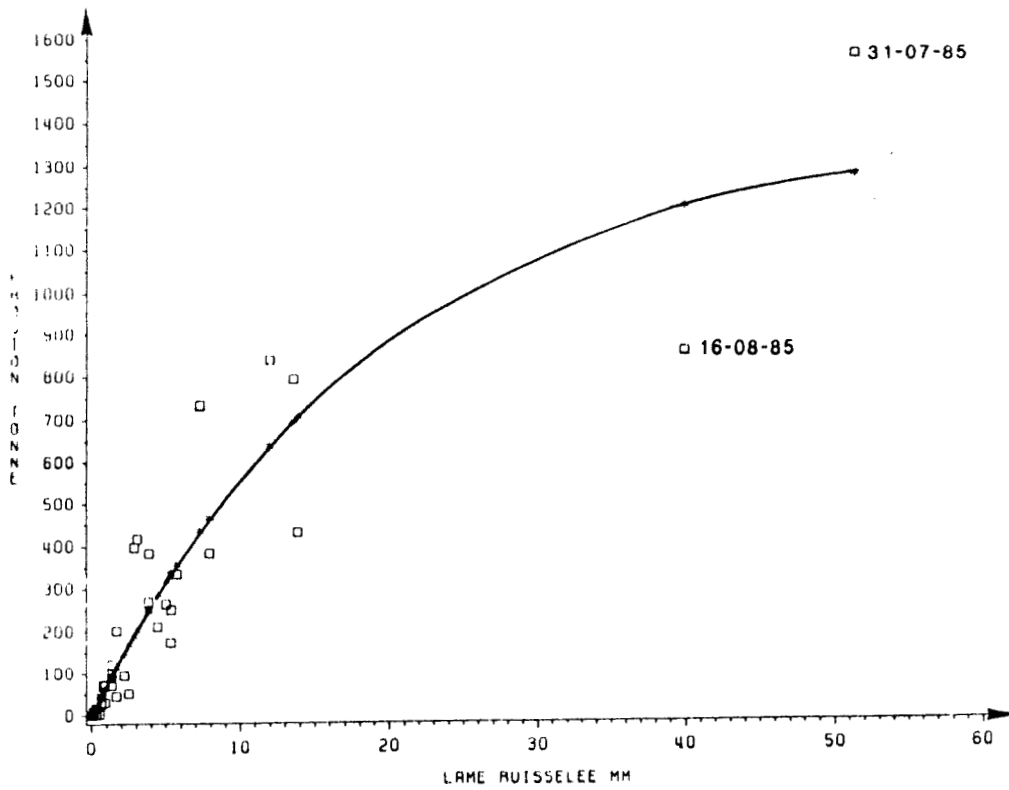


Fig- 35 BV1 MOUDA RELATION LAME RUISSELEE-EROSION .

- Après la mi-juillet

1) Les valeurs encore relativement fortes au début de la période, décroissent assez rapidement jusqu'à des valeurs minimales atteintes en septembre. La végétation naturelle et les cultures ont atteint pendant cette période un stade de développement suffisant pour protéger efficacement les sols.

2) Les concentrations faibles observées pour les très fortes crues. Nous avons vu sur le bassin n° 2, que le poids de matières transportées (Er) par chaque crue est fonction de la lame ruisselée (Lr) et de l'indice de couverture végétale (CV), qui corrige les écarts à la courbe moyenne $Er = f(Lr)$.

Recherche des facteurs explicatifs de l'érosion

Le report graphique des couples de valeurs (Lr, Er) (fig. 35) montre que la relation est linéaire pour les "valeurs courantes" de la lame ruisselée, mais que le poids de matières transportées croît de moins en moins vite pour des lames ruisselées importantes (cas des pluies du 31 juillet 1985 et du 16 août 1985). Ainsi pour des crues résultant d'averses très fortes, la concentration diminuerait, ce qui est vérifié pour les deux crues précitées, sur le graphique de la figure n° 35. Une grande partie de l'érosion annuelle est occasionnée par les crues les plus fortes, mais on tend pour une crue donnée vers une valeur limite de la concentration, qu'on peut considérer comme caractéristique du bassin.

On peut en effet supposer qu'au-delà d'un certain seuil de précipitation, pour un état de saturation du sol et de couvert végétal donnés, la pellicule de sol apte à être érodée est mobilisée par la première partie de l'averse. Le sol sous-jacent résiste mieux à l'effet "splash" des gouttes de pluies, grâce à la protection du film d'eau à la surface du sol, quand il y a ruissellement en nappe, pour de fortes crues.

Les résultats obtenus sur une seule campagne de mesure, n'autorisent qu'une estimation de cette valeur limite de la concentration pour les fortes averses, de l'ordre de 2 g/l.

Nous avons ajusté à l'échantillon de couples (Lr, Er) une fonction exponentielle décroissante de la forme :

$$Er = k(1 - e^{-aLr})$$

Pour estimer les paramètres k et a, la méthode d'optimisation développée par MARQUARDT (1963) a été utilisée.

La mise en oeuvre des calculs a été réalisée à partir du logiciel de statistique S.A.S. (S.A.S. user guide 1982).

L'estimation des paramètres k et a est donnée ci-dessous avec les caractéristiques statistiques de l'ajustement.

Paramètre	Estimation	Ecart type	Intervalle de confiance 95%
K	1367.8	149.8	1064.0 - 1671.6
a	0.0528	0.0103	0.0320 - 0.0738

L'équation de l'érosion pour l'année d'observation s'écrit :

$$Er = 1368 (1 - e^{-0.0528 Lr})$$

(Er en tonne, Lr en mm)

5.4.4 Conclusion

Au terme de ce chapitre, il apparaît que les phénomènes de l'érosion sont très complexes, et que leur étude à différents niveaux d'échelle spatiale apporte des informations tant qualitatives que quantitatives, ce qui a été observé à une échelle permettant de mieux comprendre ce qui se passe aux autres échelles.

En effet, les observations sur mini-parcelles, nous ont permis :

- a) de classer les sols selon leur sensibilité à l'érosion hydrique,
- b) d'étudier pour un sol donné l'effet du couvert végétal, ou l'accroissement de la sensibilité à l'érosion par le travail du sol.

La quantification de l'érosion n'est possible qu'à l'échelle du champ ou du bassin versant, mais reste dans tous les cas difficile à mesurer. Les résultats obtenus, très partiels ne doivent être considérés que comme une première estimation des phénomènes d'érosion sur ces sites.

5.5 Exemple de recherche des facteurs conditionnels du ruissellement et de l'érosion en conditions naturelles et sur microparcelles (1 m²)

Dès les années 1930, les recherches menées sur l'érosion et le ruissellement ont fait apparaître la nécessité de poursuivre et de compléter les études *in situ* et en conditions naturelles, par des mesures sous pluies artificielles tant au champ qu'au laboratoire. La technique de simulation des pluies présente l'intérêt de refléter des situations similaires sous pluie naturelle. Cependant, si les paramètres pluviométriques (hauteur d'eau, intensité, durée et fréquence) peuvent être reproduits artificiellement, il en est autrement de l'évolution dans le temps et particulièrement au cours de saison des pluies, de certains facteurs conditionnels de l'érosion et du ruissellement élémentaire ; notamment la conjugaison des

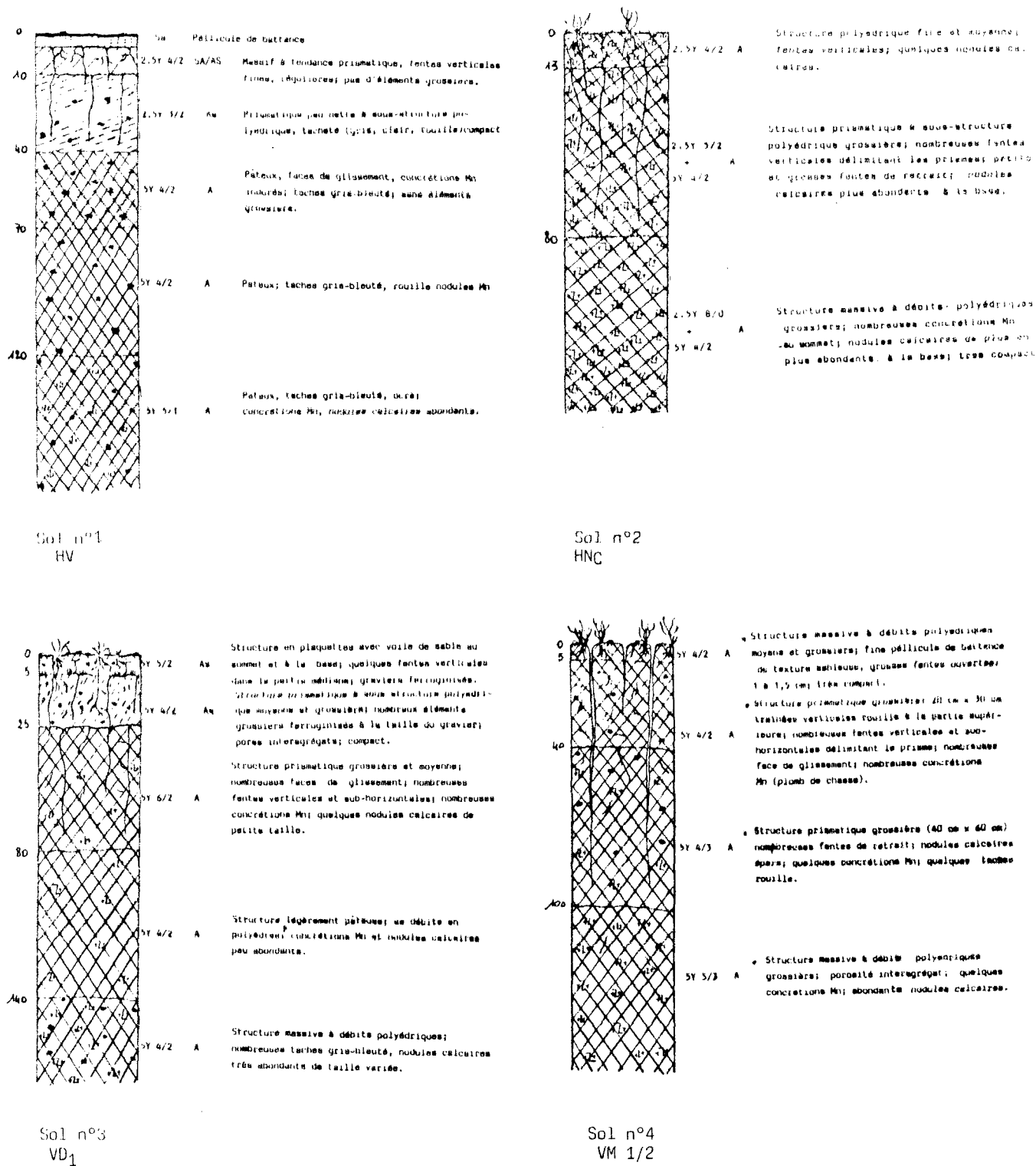


Fig. n° 36 REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES SOLS DES MICROPARCELLES

TABLEAU N° 27

CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES SOLS
DES MICROPARCELLES

SOL	TYPE DE SOL Système écologique	PROFONDEUR cm	GRANULOMETRIE					PH (eau)	MAT.ORG. %	HUMIDITE PONDERALE % à			DENSITE APPARENTE
			A	LF	LG	SF	SG			-0,3 bar	-0,5 bar	-16 bar	
1	VERTISOL "hardéisé" HV1	0-10	18.5	14.3	3.0	53.8	8.5	5.7	1.26	-	20.1	7.8	1.57
		10.40	37.3	11.0	4.6	33.8	10.4	7.5	0.98	-	23.6	10.5	1.70
		40.70	43.0	10.0	6.0	30.8	4.0	8.9	0.76	-	25.5	11.9	1.77
		70.120	46.8	10.2	17.8	16.1	3.0	9.3	0.62	-	32.7	12.4	1.77
		> 120	43.0	12.0	1.9	33.1	5.4	9.3	0.53	0.53	-	-	1.77
2	REGOSOL sur matériau à nodules calcaires HN1	0.13	49.5	13.0	8.7	16.2	6.6	8.8	1.65	20.4		9.1	
		13.80	52.3	10.3	9.5	16.8	6.3	9.4	0.57	25.6		11.7	
		> 80	41.3	6.3	2.6	31.4	10.5	9.5	0.31	25.1		11.2	
3	VERTISOL dégradé VD1	0.5	34.3	10.7	3.1	35.0	14.0	8.8	0.86	20.3		7.2	1.65
		5.25	27.8	10.5	5.1	34.7	17.5	7.5	1.86	15.6		5.8	1.65
		25.80	38.5	12.3	4.1	33.4	7.7	8.3	0.88	22.5		9.5	1.79
		80.140	40.5	12.5	4.1	31.8	5.1	8.9	0.72	24.7		12.3	1.79
		> 140	37.8	10.5	2.9	36.8	6.1	8.9	0.65	24.6		12.8	
4	VERTISOL modél VM1	0.5	30.0	14.5	3.6	38.1	9.3	7.3	2.15	20.8		9.3	1.74
		5.40	38.3	35.7	3.9	12.8	5.7	8.1		22.4		10.0	1.76
		40.100	38.5	16.5	13.9	19.5	5.1	9.1	0.81	22.6		10.4	1.87
		> 100	40.3	15.7	17.1	16.5	4.5	8.8	0.60	25.3		11.4	1.84

facteurs précités avec l'état d'humidité des sols et le couvert végétal.

L'objet de cette étude est non pas de compléter les études en conditions naturelles par des pluies simulées comme c'est couramment le cas, mais plutôt l'inverse, c'est-à-dire de compléter les informations recueillies en simulation de pluie, par des mesures en conditions naturelles à la même échelle (1m^2) par la prise en compte de facteurs supposés conditionnels du ruissellement et de l'érosion. D'une manière globale, ces facteurs peuvent être classés en 3 groupes :

- les facteurs liés à la pluviosité. Il s'agit des caractéristiques de la pluviosité : hauteur précipitée, intensité, durée, indice de Koehler et fréquence des pluies individuelles.
- les facteurs édaphiques : ce sont, pour des unités pédologiques ayant des propriétés physiques et mécaniques intrinsèques connues (pF, granulométrie, conductivité hydraulique...), les états de surface et les états hydriques (déficit par rapport à la capacité au champ des couches superficielles).
- les facteurs liés à la végétation : ils s'agit surtout du recouvrement global et de son évolution au cours de la saison des pluies.

5.5.1 Matériel et méthode

Quatre sites non cultivés, choisis parmi les principaux systèmes écologiques de la région ont été choisis. Il s'agit des vertisols très dégradés à tendance sodique et planosodique ("hardés"), les régosols sur nodules calcaires (bad-lands), les vertisols dégradés et les vertisols modaux dont les principales caractéristiques sont données dans la figure 36 et le tableau n° 27.

Le dispositif de mesures

Outre un équipement pluviométrique et pluviographique, et un tube d'accès neutronique pour la détermination des humidités du sol, le dispositif est essentiellement constitué d'un cadre carré (1 m^2), équipé d'un récipient permettant de recueillir 40 mm de ruissellement, ainsi que son transport solide.

la collecte des données : chaque type de sol est équipé de deux microparcelles (8 parcelles) ; sont recueillis pour chaque averse ayant provoqué un ruissellement les données suivantes :

- la lame ruisselée en mm (LR),
- la masse des transports solides séchés à 105°C (Erosion en g),
- l'intensité maximale en 15 mn de l'événement ($I_{\text{max}}\text{ mm.h}^{-1}$).
- la hauteur totale de l'averse (H_p mm).

Tableau n° 28

MODELES DE CORRELATION ENTRE LA LAME RUISSELEE, Hp et IK
ET ENTRE L'EROSION ET LR A MOUDA
(1986-1987) 49 EVENEMENTS

PERIODE	SOL 1 HARDE	SOL 2 Régosol sur nodules calcaires	SOL 3 Vertisol dégradé	SOL 4 Vertisol modal
Avant 1.08 (1)	Er = 4,800LR + 8,98 (*) r ² = 0,688 LR = 0,326Hp + 0,254 IK - 6,887 r ² = 0,882 (**)	Er = 13,42LR - 43,0 (**) r ² = 0,593 LR = 0,397Hp + 0,254 IK - 8,255 r ² = 0,943 (**)	Er = 2,02 LR + 4,46 r ² = 0,501 (**) LR = 0,184Hp + 0,291 IK - 3,396 r ² = 0,939 (*)	Er = 2,27LR + 4,46 r ² = 0,501 (**) LR = 0,597Hp + 0,175 IK - 7,831 r ² = 0,952 (**)
1.08 au 31.08 (2)	LR = 0,247Hp + 0,235 IK - 4,437 r ² = 0,861 (*)	LR = 0,557Hp + 0,126 IK - 5,360 r ² = 0,945 (**)	LR = 0,231Hp + 0,251 IK - 4,126 r ² = 0,912 (**)	LR = 0,278Hp + 0,221 IK - 4,077 r ² = 0,916 (**)
Après 31.08 (3)	Er = 4,78LR + 9,35 r ² = 0,680 (*) LR = 0,465Hp + 0,167 IK - 5,281 r ² = 0,920 (*)	Er = 13,10 LR - 33,9 r ² = 0,64 (*) LR = 0,492Hp + 0,163 IK - 5,844 r ² = 0,956 (**)	Er = 2,24LR - 0,20 r ² = 0,76 (**) LR = 0,400Hp + 0,197 IK - 4,559 r ² = 0,931 (**)	Er = 2,27LR + 4,46 r ² = 0,501 (**) LR = 0,302Hp + 0,327 IK - 3,902 r ² = 0,966 (**)
Toute la saison	LR = 0,546Hp - 3,120 r ² = 0,615 (*)	LR = 0,636Hp - 2,156 r ² = 0,844 (**)	Er = 2,24LR - 0,20 r ² = 0,76 (**) LR = 0,575Hp - 3,877 r ² = 0,682 (*)	LR = 0,679Hp - 4,413 r ² = 0,744 (**)

(*) significatif (0,05)

(**) hautement significatif (0,01)

Le recouvrement de la végétation totale évalué tout au cours de la saison, permet à chaque événement d'affecter une valeur à ce paramètre Rg (%).

Dans le but d'apprécier l'état d'humectation des sols avant chaque pluie nous avons essayé de suivre le déficit en eau par rapport à la capacité au champ des 20 premiers centimètres, en valeur relative. La difficulté de saisir ce paramètre immédiatement avant le début de chaque averse, nous a contraint à utiliser l'indice des précipitations antérieures IK, mis au point par CHEVALLIER (1982) d'après l'indice de Koehler.

$$IK_n = (IK_{n-1} + Hp_{n-1}) e^{-K_1}$$

Cet indice est indiqué par K₁ dans le listing des données; il est égal à zéro au début de la saison des pluies.

5.5.2 Résultats et discussions

Le tableau de toutes les données est donné dans l'annexe 5, où 49 événements pluvieux ont été listés pour 2 années (1 = 1986, 2 = 1987) pour les 4 types de sol et pour 2 répétitions (site 1 et site 2). Un premier examen des données nous a permis de détecter des différences de comportements liés à la période d'occurrence des événements au cours de la saison; aussi il a été décidé de classer ces événements pour les 2 années en 3 classes :

- Période 1 : avant le mois d'août
- Période 2 : pendant le mois d'août
- Période 3 : après le mois d'août.

Cette division a une signification aussi importante que le type de sol; en effet une période intègre à la fois le degré de développement du couvert végétal (que nous n'avons jamais pu faire sortir de façon significative), et l'état d'humectation général des sols.

Le ruissellement

Un premier traitement statistique de corrélations linéaires multiples (par paliers successifs), a permis de montrer que seule la hauteur précipitée (Hp) et l'indice d'antériorité des pluies (K₁) expliquent de façon hautement significative la variance de la lame ruisselée LR. Le fait que I_{max} ne donne aucune explication significative paraît normal dans la mesure où sous les climats soudano-sahéliens I_{max} est fortement corrélé à Hp (r=0,86); par contre nous avons été surpris par l'absence d'information fournie par l'évolution du recouvrement végétal (Rg). Ce n'est seulement qu'après le mois d'août que cette variable semble intervenir, mais toujours de façon non significative.

Dans le tableau n° 28 sont fournis les modèles de corrélation les plus significatifs et les plus faciles à utiliser (détermination de Hp et de Ik ne demandant pas de

mesures délicates). Ils sont fournis sur la base de l'analyse des données des années 1986 et 1987 (49 événements), par type de sol et par période dans le cas de LR = (Hp, IK) et par type de sol sans distinction de période dans le cas de LR = (Hp). Bien que ces deux types de modèle ne soient pas comparables, IK apparaît comme une variable hautement significative que tout spécialiste doit prendre en compte dans ces modèles de prédiction faisant intervenir le ruissellement.

Par ailleurs, nous sommes en mesure de fournir un modèle de ruissellement pour les deux ans, tous sols confondus et toutes périodes confondues ; il s'établit ainsi :

$$LR = 0,397 \text{ Hp} + 0,206 \text{ IK} - 5,885 \quad r^2 = 0,912 (**)$$

L'excellence de ce dernier modèle de corrélation, ainsi que sa haute signification, semble indiquer que celui-ci puisse convenir à l'ensemble du secteur écologique couvert par la série des vertisols de Mouda, avec quatre faciès de dégradation.

Il est bien évident que cette première interprétation ne doit pas en rester là ; l'analyse montre une "richesse" encore non exploitée ; à l'heure de la parution de ce rapport, nous ne pouvons que déplorer un manque de temps.

L'érosion

Le même traitement des données appliqué à l'érosion s'est révélé assez décevant. Hp seule n'explique que 20 à 25 % de la variance, la combinaison (Hp, Ik) environ 30 %, la prise en compte de Rg et de I_{max} n'apporte rien.

Aussi c'est avec LR qu'a été testé une corrélation érosion = Φ (LR) ; cette variable tous sols confondus explique 35 % de la variance. En essayant de faire ce traitement par sol et par période, nous obtenons certains modèles acceptables. Ces modèles sont reportés dans le tableau n° 28.

Conclusion

En conclusion, en ce qui concerne le ruissellement, des modèles utilisant uniquement Hp et IK paraissent convenir, puisque ces variables tous sols confondus et sans distinction de période expliquent 90 % de la variance ; si le traitement tient compte du type de sol et de la période, on peut expliquer avec ces mêmes variables jusqu'à 97 % de la variance.

La prise en compte de Hp seulement est insuffisante ; elle explique 80 % de la variance suivant les différents types de sol. En ce qui concerne l'érosion, ou la détachabilité seule LR sort de manière significative, mais dans le meilleur des cas elle explique 76 % de la variance et dans l'ensemble 35 %.

Le peu de poids de la variable couvert végétal est une déception.

5.6 Conclusions

La technique de simulation de pluie nous a permis, sur parcelles élémentaires de 1 m², d'étudier la réaction des différentes unités de sols représentées sur le bassin à une averse dont on a au préalable défini les caractéristiques.

Pour chacune des unités considérées une fonction de production du ruissellement a été élaborée, en faisant intervenir les paramètres prépondérants : la hauteur de l'averse (Pu), l'indice des pluies antérieures (IK) et un indice du couvert végétal (CV).

Les résultats de ces expérimentations menées en saison sèche, sous pluie simulée en mode synchrone, dans des temps très courts, demandaient à être confirmés par un suivi en mode diachrone sur les mêmes sites en saison des pluies, permettant en particulier l'intégration de l'évolution du couvert végétal et autres facteurs saisonniers : activité mésofaunique par exemple et leur influence sur le ruissellement. La comparaison des fonctions de production établies dans les deux situations a permis de mettre en évidence les faits suivants :

1) La fidélité du mini-simulateur dans la reproduction des averses : les fonctions de production sont sensiblement les mêmes dans les deux cas, sur les sites S I et S VI dépourvus de végétation ou présentant un couvert végétal très faible.

2) L'identification d'un seuil de densité de recouvrement au sol de la végétation herbacée au-delà duquel la prise en compte de son état physiologique devient nécessaire.

Dans les régions soudano-sahéliennes et sahéliennes, ce seuil critique de densité du couvert herbacé, estimé à 30 %, n'est généralement atteint qu'en fin de saison pluvieuse. La non prise en compte de ce phénomène n'a que peu d'influence dans la reconstitution des lames ruisselées à l'échelle du bassin. Il peut en aller différemment dans les régions à climat tropical où la saison sèche est relativement courte : 3 à 4 mois, et où la végétation présente un couvert au sol dense dès le début de la saison pluvieuse qui s'étale sur 8 mois environ.

L'échelle du champ nous paraît particulièrement intéressante, car elle permet la mise en oeuvre et le suivi d'un dispositif important pour l'étude fine du ruissellement, de la genèse des crues et du bilan hydrique.

On a pu, non seulement, élaborer une fonction de production du ruissellement et étudier les paramètres de forme des crues par l'analyse des hydrogrammes, mais aussi, étant donné la brièveté des temps de transfert des eaux de ruissellement à cette échelle d'étude, décomposer l'hydrogramme de crue en fonction de chaque aire contributive du bassin. Dans cette démarche, l'apport du mini-simulateur de pluie est essentiel, puisqu'il permet de connaître la fonction de production du ruissellement de chaque aire contributive. La séparation des apports n'est en effet pas possible à l'exutoire d'un bassin versant de quelques hectares ou de quelques km², cas du bassin

n° 1 de notre étude, sur lequel les résultats nous renseignent sur les caractéristiques des écoulements, sur la forme des crues, et servent de référence pour le transfert des résultats obtenus sur les parcelles élémentaires.

Ce transfert se fait actuellement en deux étapes :

- détermination d'une fonction de production du bassin. Celle-ci résulte de la somme, pondérée par les superficies occupées, des fonctions de production de chaque unité cartographique.

- calcul d'une fonction de calage des lames ruisselées calculées sur les lames ruisselées observées.

Pour l'étude de la sensibilité des sols à l'érosion hydrique, le mini-simulateur permet de tester un grand nombre de sols, dans des situations différentes de couvert végétal et d'états de surface. La quantification de la détachabilité dans chaque cas, permet de classer les sols en fonction de leurs caractéristiques physiques, mais aussi de l'utilisation qui en est faite par l'homme. L'extrapolation des résultats quantitatifs de la parcelle vers le bassin n'est pas possible pour l'érosion, l'échelle de la parcelle n'intégrant pas en particulier le facteur pente. De plus la succession de 3 campagnes de mesures sous pluie simulée à différentes époques de la saison sèche, a montré qu'il fallait être prudent dans l'interprétation des résultats des premières averses. Les dépôts éoliens sont souvent importants dans ces régions en saison sèche et sont facilement remobilisables lors des premières pluies. D'où l'intérêt de faire des protocoles assez longs (5 à 6 averses).

Des relations explicatives de l'érosion ont été établies sur le champ et le bassin versant, mettant en évidence l'évolution des concentrations moyennes au fil de la saison pluvieuse en fonction des mises en cultures et du développement de la végétation.

Il apparaît donc que la complémentarité des études à différents niveaux d'échelle est totale et nécessaire, pour comprendre les mécanismes du ruissellement et de l'érosion, en analysant l'influence des différents facteurs et les niveaux de leurs interactions.

La technique de la simulation de pluie s'avère particulièrement bien adaptée pour l'étude de ces systèmes globaux d'interactions, car en faisant varier les conditions de mesures, elle permet d'apprécier, toutes choses égales par ailleurs, l'effet spécifique de chacun des facteurs.

La réduction à une année de la durée d'étude sur bassins versants (au lieu de trois années minimum antérieurement), couplée à une campagne de simulation de pluie, entraîne une diminution des coûts et des délais appréciables pour les acteurs du développement, favorisant ainsi la multiplication des projets nécessaires à une mise en valeur équilibrée de ces régions à hauts risques.

6 - CONSERVATION DES SOLS ET MAITRISE DE L'EAU - REFLEXIONS SUR L'AMENAGEMENT

Dans cette partie sont étudiés deux cas d'aménagement traditionnel de maîtrise de l'eau, couramment usités dans la région. A partir de ces résultats et de ceux des parties précédentes nous formulons quelques réflexions et ébauches de solution pour une meilleure gestion des sols, des eaux et de la végétation de ces régions ; on verra dans les perspectives des propositions d'étude pour la mise en valeur des terres les plus marginales.

6.1 Aménagements traditionnels

6.1.1 Introduction

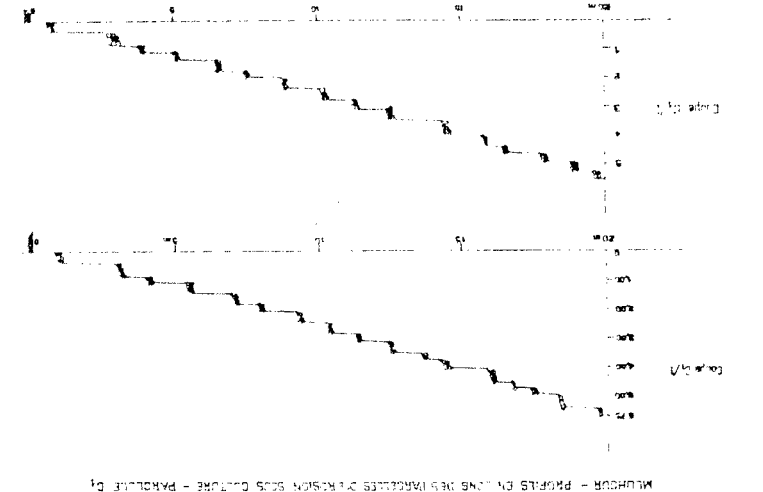
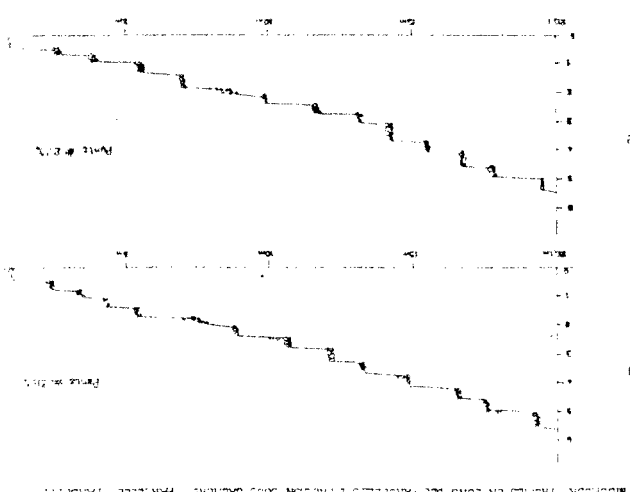
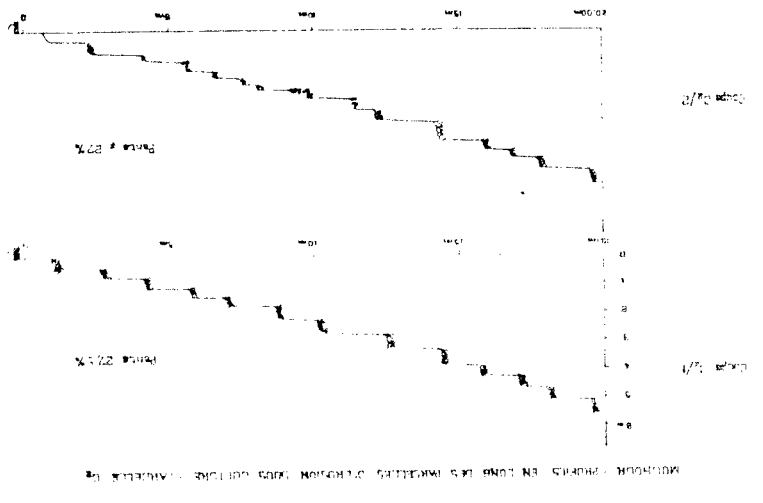
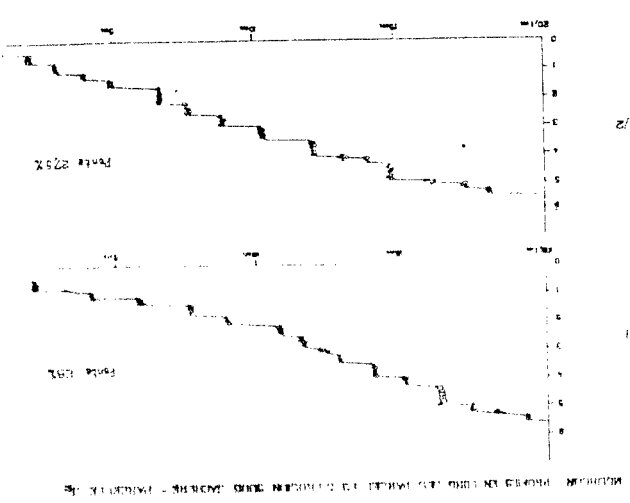
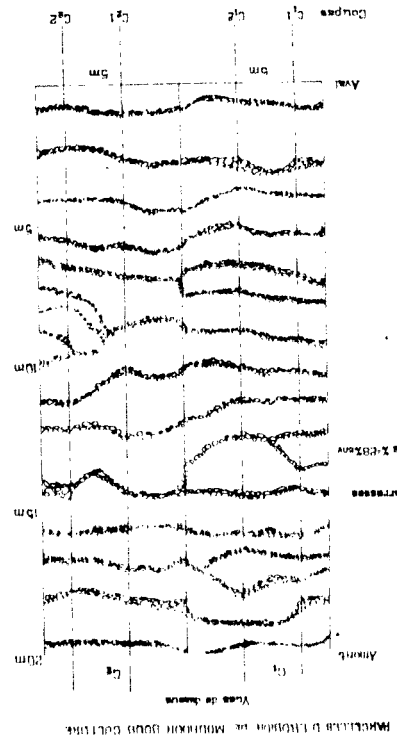
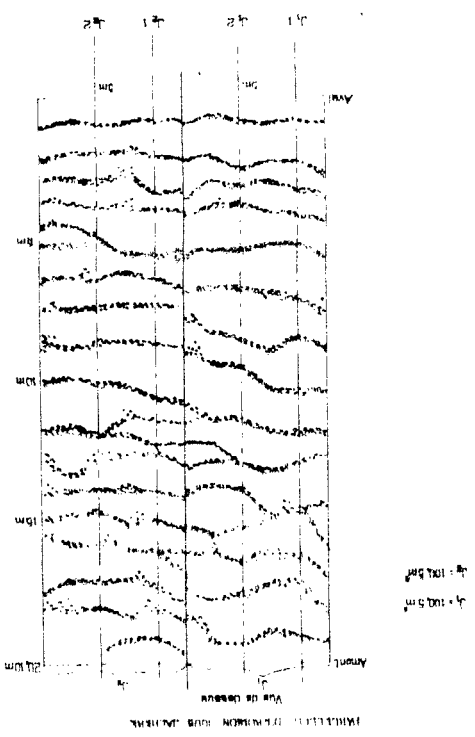
Depuis des siècles les agriculteurs de montagne (Monts Mandara) et certains de la plaine du Diamare utilisent des aménagements traditionnels permettant de lutter contre les pertes en eau et en terre de leurs terroirs. Certains de ces petits aménagements parfois très simples accroissent les disponibilités en eau du sol pour la végétation tant en volume que dans le temps permettant ainsi la pratique des cultures de contre-saison, et ainsi l'étalement du calendrier des activités agricoles souvent trop chargé au moment de la saison des pluies. D'autres sont parfois une nécessité infligée par des contraintes sévères d'exploitation du milieu (forte pente, sol fragile, etc).

Nous ne prétendons pas faire ici une revue exhaustive des techniques et systèmes permettant une meilleure utilisation des eaux de surface (agriculture de bas fond, d'impluvium, de décrue, etc. pratiques améliorant le régime hydrique des sols), mais uniquement présenter deux cas précis d'aménagement bien maîtrisés dans notre zone d'étude, et peut-être pas assez répandus. En effet, au moment où les aménagistes cherchent par tous les moyens à accroître la production tout en luttant contre la dégradation des sols, nous pensons qu'il existe dans ces pratiques traditionnelles, qui malheureusement s'avèrent souvent incompatibles avec une agriculture moderne et productive, un certain nombre d'éléments et de principes à réhabiliter et à adapter.

Nous avons donc cherché à préciser ici :

- . le bilan hydrique et d'érosion des terroirs montagnards, aménagés en terrasses dans la région de Mokolo,

PLANS ET PROFILS EN LONG DES PARCELLES DE MOUHOUR (Mai 1986) Fig. n° 37



- . les conséquences pour le stockage de l'eau de l'aménagement en casiers sur les glacis et plaines à faible pente du Diamare qui perdent énormément d'eau par ruissellement, et sur lesquels on pratique la culture du sorgho de contre-saison (Mouskouari).

6.1.2 Les terrasses de Mouhour

Situées à 65 km de Maroua le long de la route Maroua-Mokolo (cf. fig. 1), le secteur de Mouhour est représentatif de l'agriculture montagnarde des Monts Mandara. La zone présentant des températures moins élevées que la plaine du Diamare, qu'elle domine, est plus arrosée (1000 mm contre 750 mm) et est en outre marqué par un début de saison des pluies plus précoce (avril-mai).

Ce terroir installé sur les versants du Hossere Mouhour (culminant à 1005 m), et sur des pentes pouvant dépasser 30 %, présente un aménagement en terrasses dont l'élément principal est une murette en pierres sèches, perméable, dont la hauteur varie entre 25 et 75 cm (cf. fig. 37). Celles-ci, en retenant la terre, permettent d'obtenir des replats de formes variables, mais en général allongées orthogonalement à la pente (de 5 à 20 m de long, et de 0,5 à 1,5 m de large), sur lesquels les agriculteurs cultivent mil, sorgho, arachide, niébé, gombos, coton, etc. Actuellement ce système plus ou moins bien entretenu (réfection des murettes et remontée de la terre) n'est pas régulièrement cultivé ; on observe une forte proportion de jachères anciennes (> 5 ans) et même d'abandon.

Les sols de ces versants montagnards peu évolués (type A[R], A[C], A[C,R]) peu épais (10 à 50 cm), se développent sur des arènes grossièrement sableuses, voire graveleuses (arénosols) issues des granites.

Ils sont pauvres en argile (10 %), et en matière organique (0,3 à 1 %) présentent de très faibles capacités d'échange (3 à 7 meq), et un pH en général compris entre 6 et 5. Des essais de simulation de pluies ont montré leur très forte aptitude à l'infiltration ($K_i \approx 30 \text{ mm/h}^{-1}$) et leur très faible capacité de stockage de l'eau ($RU \approx 0,5 \text{ à } 0,7 \text{ mm.cm}^{-1}$).

6.1.2.1 Le protocole et le dispositif

Sur le site, deux situations initiales ont été choisies sur le même versant (28 % pente) et à la même altitude (800 m):

- (i) une situation de jachère, voire d'abandon datant d'environ au moins 5 ans sur système de terrasses non entretenues ;
- (ii) une situation de cultures traditionnelles (très souvent associées) sur un système de terrasses bien entretenues.

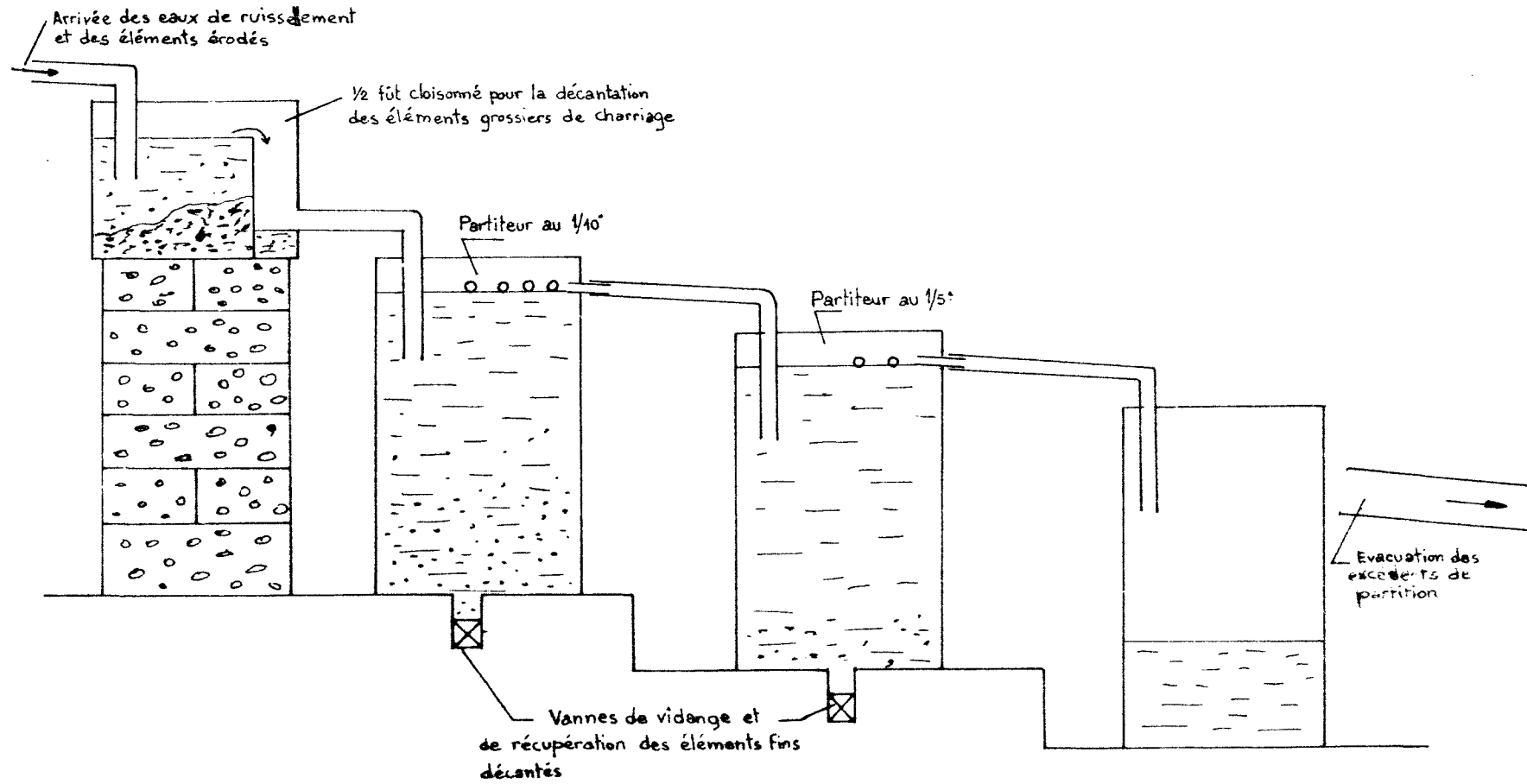


Fig. n° 38 — Dispositif de récupération des eaux de ruissellement et des produits érodés à MOUHOUR.

Tableau n° 29 PROTOCOLES MIS EN PLACE SUR LES PARCELLES
DE MOHOUR (1986-1987)

N° PARCELLE	1986		1987	
	Sigle	Traitement	Sigle	Traitement
1	J1	Abandon longue durée (+ 5 ans - Jachère)	J1	Abandon longue durée (Jachère)
2	J2	Abandon longue durée (+ 5 ans - Jachère)	J2C	Remise en état des terrasses + culture traditionnelle de coton
3	C1	Culture sur terrasses entretenuës (sorgho, arachide, etc..)	C1J	Abandon de la culture (Jachère 1 an)
4	C2	Culture traditionnelle sur terrasses entrete- nues (sorgho, arachide, etc..)	C2N	Culture traditionnelle entretien des terrasses

Nous aurions pu retenir une situation non aménagée en terrasses ; nous ne l'avons pas fait pour éviter d'alourdir le dispositif. Nous avons considéré que le système "terrasses" n'était pas à remettre en cause en ce qui concerne la conservation des eaux et des sols ; nous nous sommes attachés surtout à observer les conséquences d'un abandon, ou d'une remise en état des terrasses sur le bilan d'eau et d'érosion.

Pour atteindre ces objectifs 4 parcelles de ruissellement et d'érosion (type Wischmeier) de 5 m x 20 m ont été délimitées et installées début 1986 : deux sur anciens abandons (jachères) présentant une végétation ligneuse et herbacée abondante non brûlée (100 % couvert végétal), et deux sur système cultivé et entretenu.

La figure n° 37 donne les caractéristiques de l'organisation spatiale des terrasses et de l'état des murettes à l'intérieur de chaque parcelle ainsi que leur profil en long.

Chacune de ces parcelles (fig. n° 38) a été équipée d'un système de collecte des eaux de ruissellement et des produits de l'érosion qui consiste en :

- un demi-fût de transit à 3 cloisons en vue de la décan-tation des éléments grossiers,
- un premier fût à partition au 1/10,
- un deuxième fût à partition au 1/5,
- un dernier fût de stockage pouvant recevoir en cas de débordement des trois fûts précédents le 1/50ème des écoulements.

Les 4 parcelles étant voisines, un pluviographe doublé de deux pluviomètres permet de contrôler la pluviosité : hauteur, intensité et durée des averses.

Durant la saison des pluies un technicien installé à demeure assurait durant 4 mois la maintenance du dispositif, les lectures, les vidanges et prises d'échantillons pour les mesures de l'érosion.

Le tableau n° 29 donne pour les campagnes 1986 et 1987 les protocoles mis en place en matière d'occupation des sols de ces quatre parcelles.

La parcelle 1 a conservé le même statut durant les deux années, ainsi qu'à un degré moindre la parcelle 4 sur laquelle on n'a pas réfectionné les murettes après la campagne 1986. La parcelle 2 a été réaménagée en avril 1987, alors que la 3 était abandonnée à la jachère. Les différents travaux d'entretien des murettes et culturaux ont été effectués conformément aux pratiques locales. En 1986 les deux parcelles cultivées (3 et 4) étaient occupées par des cultures associées (mil, arachide, niébé et gombos) ; en 1987 les parcelles 2 et 4 étaient respectivement occupées par du coton et des cultures associées.

La végétation sur les jachères (recouvrement et liste floristique) a été suivie et est en cours de dépouillement (cf annexe n° 6).

6.1.2.2 Les résultats

La pluviosité

Le tableau n° 30 donne la répartition mensuelle des pluies au cours des deux campagnes.

Mois Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANNUEL
1986	0	0	0	0	26,0	237,0	284,2	144,2	267,0	1,0	0	0	959,4
1987	0	0	0	0	27,0	222,0	191,5	231,6	81,6	0	0	0	753,7

Tableau n° 30 - Hauteurs mensuelles précipitées à Mouhour

En 1987 la hauteur annuelle a été de 200 mm inférieure à celle de 1986. Pour les deux années la saison des pluies a été relativement précoce. La différence essentielle se situe en septembre où 1987 a été nettement déficitaire. L'intensité maximale enregistrée en 1986 a été de 111,0 mm/h pour une hauteur précipitée de 62 mm (20/9/86) et l'averse maximale a été de 84 mm avec une $I_{max 15'}$ de 75,1 mm/h (31/7/86). En 1987 nous avons observé $I_{max 15'} = 91,6$ pour $H_p = 71,5$ mm (11/7/87) et $H_p = 100,0$ mm pour $I_{max 15'} = 49,5$ mm/h (3 et 4/6/87). Nous trouverons les détails en annexes 6.

Le ruissellement

Concernant le ruissellement on constate que du 14/6/86 au 24/9/86(*) 26 averses pour 806,1 mm ont donné lieu à des ruissellements sur au moins une parcelle, alors que ce sont 22 averses qui ont ruisselé durant toute la saison 1987. Dans les annexes 6 on peut observer que ce sont les pluies de juin et de juillet qui ont donné les plus forts ruissellements sur P3 et P4. Nous noterons en particulier les averses des 18 et 23/6/86, ainsi que celles des 3-4 et 20/7/86, alors que celle du 20/9/86 malgré son exceptionnelle violence n'a provoqué que des ruissellements moyens (51,2 et 36 % sur 3 et 4), ceci étant dû au couvert végétal.

Sur le tableau n° 31 ont été synthétisés les résultats des deux campagnes. Globalement, nous pouvons faire les remarques suivantes :

.Malgré l'entretien des terrasses, la culture favorise le ruissellement ; J_1 et J_2 malgré la détérioration de certaines

(*)pour les premières pluies de 1986, le dispositif n'était pas encore totalement opérationnel.

Tableau n° 31

 RESULTATS GLOBAUX DE RUISSELLEMENT ET D'EROSION SUR LE SITE DE MOHOUR
 (1986-1987)

	Parcelle 1						Parcelle 2			Parcelle 3			Parcelle 4							
	Hp (mm)	Trait (mm)	LR (mm)	Ke (%)	Erosion (Kg)		Trait (mm)	LR (mm)	Ke (%)	Erosion (Kg)		Trait (mm)	LR (mm)	Ke (%)	Erosion (Kg)		Trait (mm)	LR (mm)	Ke (%)	Erosion (Kg)
Mai	86	84.7*	J1	4.0	95.3	13.2	J2	4.5	94.7	9.1	C1	41.1	51.5	107.1	C2	29.9	64.7	62.2		
Juin	87	249.0	J1	3.2	98.5	0.5	J2C	17.7	92.0	8.3	C1J	14.6	93.4	15.7	C2N	44.8	79.0	29.4		
Juillet	86	284.2	J1	11.0	96.1	14.1	J2	10.1	96.4	8.8	C1	113.8	59.9	130.7	C2	92.2	67.5	75.7		
	87	191.5	J1	13.7	92.8	2.05	J2C	43.4	77.3	14.3	C1J	45.5	76.2	23.2	C2N	52.9	72.3	25.9		
Août	86	144.2	J1	1.0	99.3	0.7	J2	0.8	99.4	0.7	C1	13.8	90.4	6.5	C2	9.9	93.1	3.8		
	87	231.6	J1	1.0	99.5	0.4	J2C	11.2	95.1	6.6	C1J	7.7	96.6	2.4	C2N	24.3	89.5	6.9		
Sept.	86	267.0	J1	14.5	94.5	1.0	J2	13.5	94.9	1.3	C1	49.9	81.3	24.8	C2	35.6	86.6	14.2		
	87	81.6	J1	0.2	99.7	0	J2C	1.1	98.6	0.89	C1J	0.7	99.1	0.04	C2N	0.8	99.0	2.1		
Totalité saison des pluies	86	806.1*	J1	30.5	96.2	29.2	J2	28.9	96.4	20.9	C1	218.6	72.8	269.1	C2	167.6	79.2	155.9		
	87	753.7	J1	18.1	97.6	3.1	J2C	73.4	90.3	30.1	C1J	68.5	90.9	41.3	C2N	122.8	83.7	64.4		

* les parcelles n'ont fonctionné qu'à partir du 14.06.86

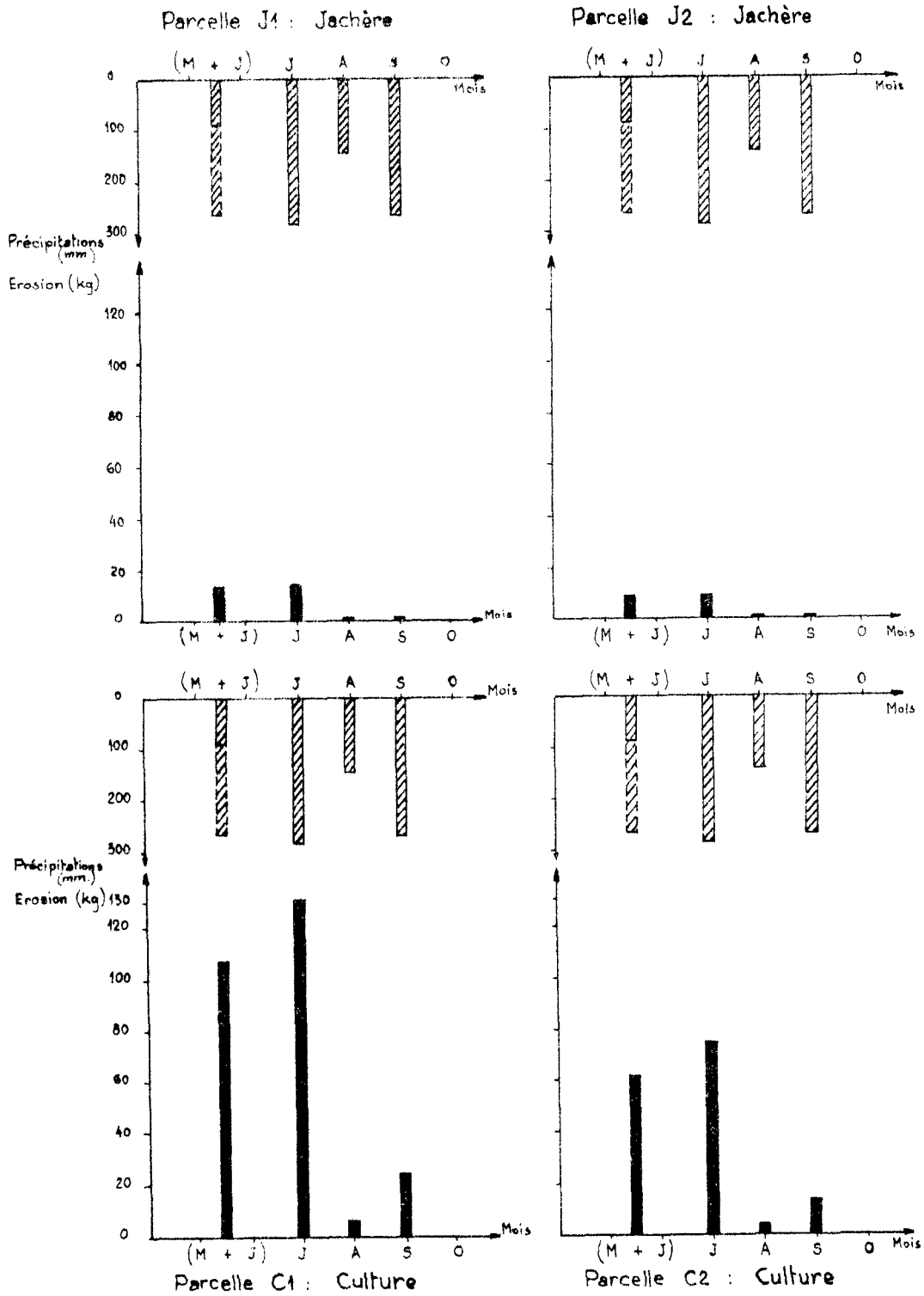


Fig. n° 39 - Erosion sur les parcelles de MOUHOUR en 1986.

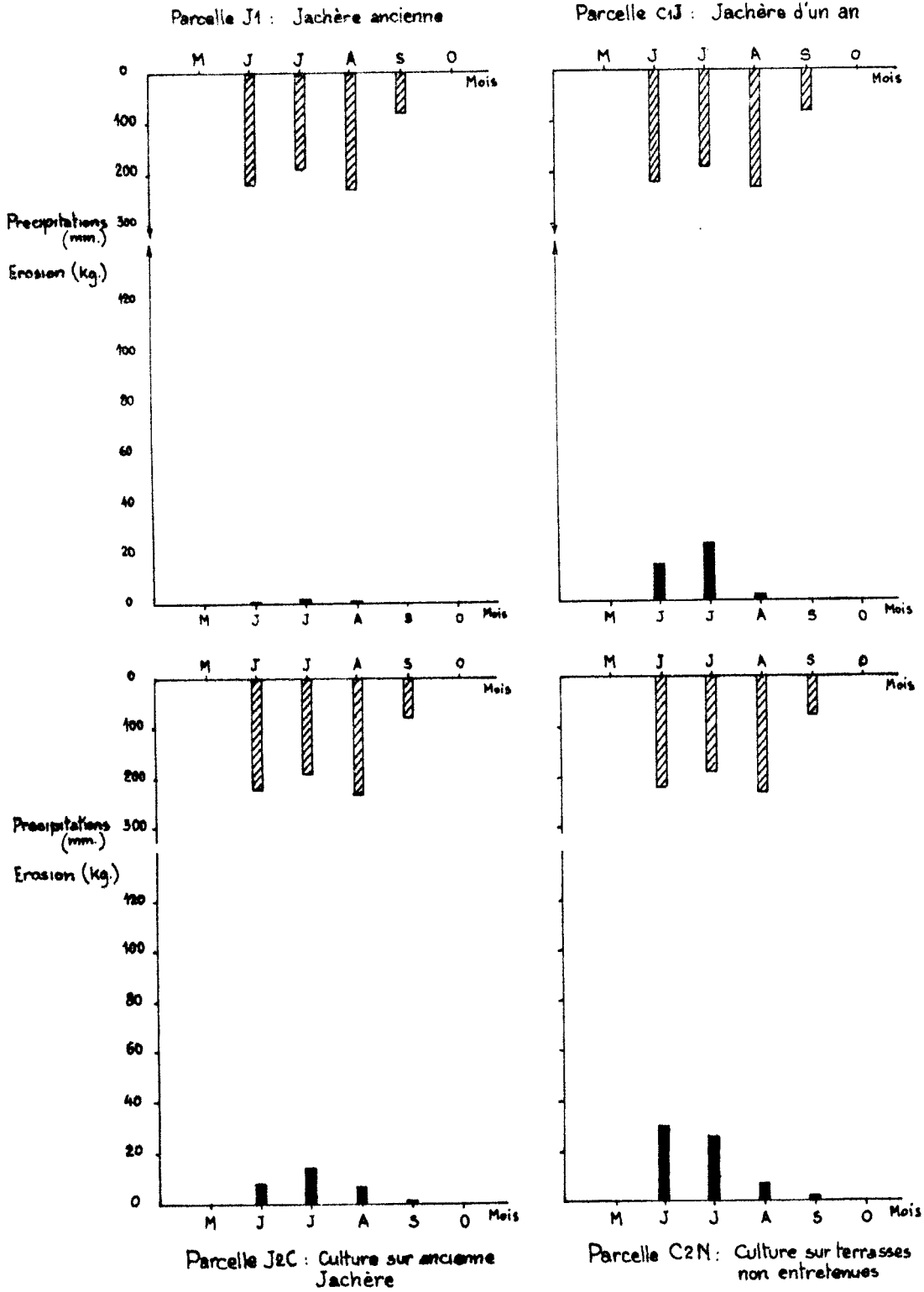


Fig. n° 40 - Erosion sur les parcelles de MOUHOUR en 1987

murettes absorbent pratiquement la totalité des précipitations. Le coefficient d'efficacité de la pluie k_e ,

$$k_e = \frac{H_p - LR}{H_p} \times 100$$

est proche de 100 %. Ceci est encore vérifié en 1987 sur J_1 .

.Il semble que la jachère de longue durée (+ 5 ans), suivie d'une remise en état des murettes, avec une culture ait un effet bénéfique ; restructuration des sols (surtout si le feu n'est pas survenu) avec amélioration du statut organique ; c'est le cas de la parcelle 2 en 1987 (J_{2C}) qui malgré une culture de coton considérée comme peu protectrice contre le ruissellement montre des écoulements modérés ($K_r\% \approx 10\%$).

.Dans tous les cas le ruissellement est plus fort en juin et juillet ; en effet pour cette période la lame ruisselée représente en moyenne 75 % des écoulements annuels ; la végétation naturelle ou cultivée n'est encore pas installée convenablement.

L'érosion

Le tableau n° 31, les annexes 6 et les figures n° 39 et 40 montrent globalement que :

.L'érosion a été plus forte la première année ; cela est dû à une hauteur supérieure des précipitations et/ou à des parcelles encore non stabilisées (travaux effectués en mars/avril) et/ou à des pluies plus agressives (à vérifier avec l'indice RVSA de WISCHMEIER) dont les valeurs sont en cours de détermination, annexe 6).

.L'érosion est 8 à 9 fois plus faible sur les milieux en jachère de longue durée que sur les milieux cultivés ; ces résultats sont comparables à ceux obtenus dans les zones semi-arides du Nord-Sahara.

En fait, il est plus intéressant de caractériser dans notre cas, **l'érosivité comparée** du millimètre d'eau ruisselée qui traduit mieux la sensibilité à l'érosion hydrique. Nous l'exprimerons par $Er = \text{kg.mm}^{-1}$, pour 100 m². Le tableau n° 32 nous donne les valeurs moyennes saisonnières et annuelles de cette érosivité.

Il ressort, au bout de deux années, après stabilisation des parcelles (effets de bordure) que :

. L'érosivité de l'eau ruisselée est 2,5 fois moins forte sur les jachères de longue durée et non brûlées (parcelle 1) que sur les zones cultivées (parcelle 4).

. La remise en culture et la réfection des murettes entraîne malgré tout une forte reprise de l'érosivité (parcelle 2) ; mais la jachère semble avoir été profitable.

Tableau n° 32 Erosivité moyenne comparée du millimètre d'eau
ruisselé à MOUHOUR
(pour une parcelle de 100 m² en Kg mm⁻¹)

!	!	PARCELLE	!	1	!	2	!	3	!	4	!
!	!	TRAITEMENT	!	J1	!	J2	!	C1	!	C2	!
!	!	MAI/JUIN	!	3,3	!	2,0	!	2,6	!	2,1	!
!	1986	JUILLET	!	1,3	!	0,9	!	1,1	!	0,8	!
!	!	AOUT	!	0,9	!	0,9	!	0,5	!	0,4	!
!	!	SEPTEMBRE	!	0,07	!	0,1	!	0,5	!	0,4	!
!	!	TOTAL SAISON DES PLUIES	!	0,9	!	0,7	!	1,2	!	0,9	!
!	!	TRAITEMENT	!	J1	!	J2C	!	C1J	!	C2N	!
!	!	MAI/JUIN	!	0,2	!	0,5	!	1,1	!	0,7	!
!	1987	JUILLET	!	0,1	!	0,3	!	0,5	!	0,5	!
!	!	AOUT	!	0,4	!	0,6	!	0,3	!	0,3	!
!	!	SEPTEMBRE	!	0	!	0,8	!	0,06	!	2,6	!
!	!	TOTAL SAISON DES PLUIES	!	0,2	!	0,4	!	0,6	!	0,5	!

. L'abandon de première année semble pour l'instant le moins favorable.

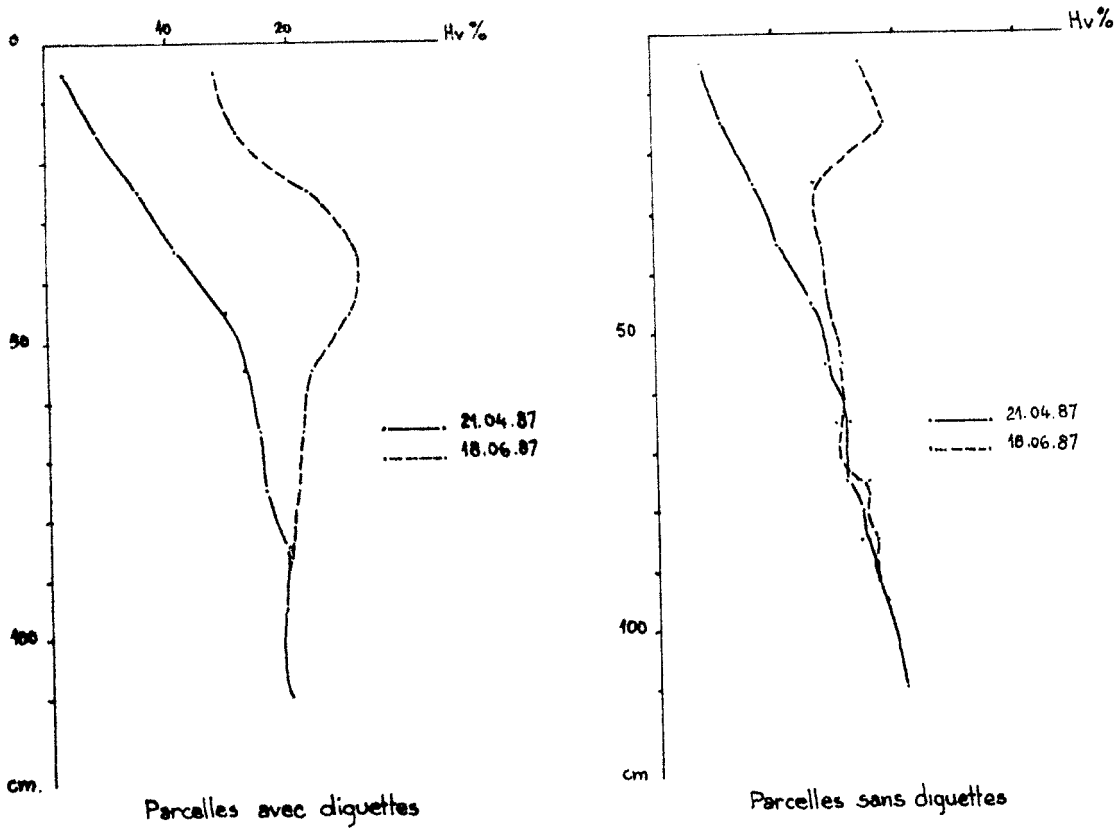
En attendant de confirmer ces premiers résultats par encore au moins deux années d'observations, nous pouvons formuler les conclusions suivantes. Sans remettre en cause l'intérêt des terrasses, à notre avis indispensables pour la pratique de l'agriculture dans ces zones de montagnes à forte pente (15 à 35 %), il faut reconnaître que les cultures annuelles constituent un risque important d'érosion et de pertes en eau. Or, dans le contexte actuel de semi-abandon, il convient de trouver des solutions permettant de sauvegarder l'investissement de nombreuses générations. On a vu que les jachères de longue durée améliorent la situation sur le plan de la conservation des eaux et des sols, mais elles ne sont pas très productives même pour le parcours. Des solutions introduisant l'arbre (essences forestières ou fruitières) pourraient être envisagées à conditions de les tester.

6.1.3 Les casiers à diguettes de Doyang

La zone de Doyang située à 10 km au Nord-Ouest de Maroua est représentative des activités agricoles du Diamaré. C'est en effet sur ces terres que l'on pratique la culture du Mouskouari. Il s'agit d'un sorgho de contre-saison récolté en février ; il est semé en pépinière et repiqué juste avant la fin de la saison des pluies, sur des terres qui ont reconstitué d'importantes réserves en eau durant la saison des pluies ; en outre ces terres ne sont en général pas accessibles durant celle-ci, en raison d'engorgement temporaire, de surface. Dans le cas de Doyang, le sol est un vertisol, dénommé "Karal" dans la région, qui peut être plus ou moins dégradé et qui se trouve sur des terrains à faible pente (1 à 2 %) ou même à drainage extérieur déficitaire. A la fin de la saison sèche ces sols, s'ils se trouvent en position de bas fond, ou s'ils sont très argileux, présentent les fentes de retraites caractéristiques ; en position de légère pente, ces caractères sont moins accentués et leur surface est moins "ouverte", allant dans les cas extrêmes à présenter les caractères des surfaces hardées (forte compacité de l'épipédon).

L'objectif des agriculteurs, dans ces zones, est donc de pouvoir stocker le maximum d'eau, reportable sur la saison sèche (au moins jusqu'en janvier). Dans les zones de bas fonds inondables, cet objectif est atteint puisqu'en général le coefficient d'efficacité de la pluie dans la recharge des réserves en eau est supérieur à 100 %. Sur les zones plus dégradées et en légère pente, certaines averses peuvent ruisseler jusqu'à 80 % (cf. résultats simulation de pluie et sur BV 2 à Mouda) et présenter un $k_e < 60\%$ à l'échelle de l'année. Pour essayer d'améliorer cette situation certains agriculteurs aménagent leurs terres en construisant de petites diguettes de 20 à 30 cm de hauteur par simple levée de terre délimitant ainsi des casiers rectangulaires de 50 à 200 m² voire plus, suivant les situations. En général, dans ces zones traitées sauf événement pluvieux exceptionnel, ou si les diguettes sont

Fig. n° 41 — Profils hydriques à DOYANG



mal entretenues, il n'y a plus de ruissellement. Malheureusement cette pratique contraignante en raison de l'entretien des diguettes n'est, à notre avis, pas assez développée ; elle devrait en outre s'étendre, permettant ainsi la récupération de terre à tendance "hardée".

Le protocole et le dispositif, très simples, consistent à comparer sur un vertisol en légère pente les régimes hydriques d'une zone traitée en diguettes et d'une zone voisine identique sur le plan édaphique, non traitée. Cette expérimentation commencée en 1987, se voulait prospective et devait servir à orienter un programme plus approfondi, axé sur la maîtrise et l'utilisation des eaux de surface sur ce type de milieu. Nous tenons néanmoins à présenter quelques données obtenues sur ce site de Doyang. Le tableau n° 33 et la figure n° 41 présentent les résultats globaux pour la période allant du 20/4 au 18/6/87.

	Réserve en eau 0-120 cm (mm)		Accroiss ⁺ . réserves eau 0-120 cm (mm)
	21/4/87	18/6/87	
Parcelle traitée avec diguettes	167,1	245,4	78,3
Parcelle non traitée	162,5	207,8	46,3

Tableau n° 33 - Evolution des réserves en eau totale à Doyang

De ceux-ci, il ressort que, malgré la courte durée de l'expérimentation et alors qu'il était déjà tombé 146 mm dans la zone de Maroua à la date du 18/6/87 :

.le traitement de la zone avec diguettes permet d'augmenter entre le 24/5 (date de la première pluie) et le 18/6/87 de 40 % environ le stockage de l'eau par rapport à la zone non traitée.

.dans la zone traitée le front d'humectation atteint 80 cm et difficilement 50 cm dans la zone sans diguettes.

.l'ETR dans la zone traitée a été entre le 24/5 et le 18/6/87 de 67,7 mm, ce qui correspond à une évapotranspiration moyenne journalière de 2,7 mm dans l'hypothèse où toute l'eau précipitée s'est infiltrée.

Cette simple expérimentation, trop courte, montre l'intérêt qu'il y a à développer des études concernant des aménagements inspirés du même principe. Celles-ci devraient être conduites sur des types de milieux apparentés (nombreux faciès depuis les planosols aux vertisols, voire fersialliques vertisolistiques, en passant par tous les stades de dégradation). En effet, cette technique peut certainement être améliorée par des études sur le dimensionnement des ouvrages

compatibles avec au moins des outils tractés, sur la mécanisation de la réfection des diguettes, et sur l'amélioration des caractéristiques physico-hydrauliques du sol, etc. Les essais conduits actuellement dans ce sens par les forestiers du CRF Maroua sont concluants, et devraient être étendus aux terres de cultures, ainsi que pour l'amélioration des zones pastorales.

6.2 Quelques réflexions sur l'aménagement et la minimisation du risque

Dans les zones arides, les paysans sont soumis à des risques climatiques qui sont liés principalement à la pluviosité. A la faiblesse des précipitations s'ajoutent une grande variabilité dans le total et la répartition des pluies de la saison humide. En raison d'une grande diversité des formes édaphiques les sols accentuent ou diminuent localement ces risques de sécheresse, en stockant différemment l'eau de pluie (notion d'efficacité de la pluie $k_e = P_e/P$ où $P_e = P \pm R$), et en la redistribuant aux plantes et à l'atmosphère selon des modalités diverses (FLORET et PONTANIER, 1984). Ainsi donc à la notion d'aridité climatique se substitue celle d'aridité édaphique, dont la répartition spatiale est essentiellement en relation avec l'organisation des structures édaphiques. Nous voyons donc tout l'intérêt qu'il y a de connaître ces organisations spatiales, ainsi que leur fonctionnement hydrique ; ceux-ci sont les critères essentiels de répartition de la végétation et la clé des aménagements.

Par ailleurs, si de nombreux milieux perdent beaucoup d'eau par ruissellement, les pertes en terre sont parallèlement souvent énormes ; la capacité de stockage en eau des sols diminue ; les horizons superficiels se déstructurant, l'évaporation augmente ; ces phénomènes vont dans le sens d'une aggravation de l'aridité édaphique.

Concernant les espaces sylvo-pastoraux, la situation actuelle n'est pas tellement plus brillante ; le surpâturage, le prélèvement excessif des ligneux, sont des règles généralisées dans les zones peuplées. Bien sûr, il existe encore sur le territoire de cette région des systèmes écologiques en bon état et d'autres, capables de se régénérer naturellement, avec un allègement de la charge et une limitation des prélèvements. Mais pour beaucoup d'entre eux des seuils d'irréversibilité ont été franchis.

La voie est donc étroite pour le pasteur ou l'agriculteur de ces zones soudano-sahéliennes, obligé de privilégier une stratégie de court terme. En effet, confrontés à des alternances souvent non prédictibles d'années favorables ou défavorables, ils peuvent rarement mobiliser rapidement les moyens nécessaires à une intensification qui serait souhaitable durant les bonnes années.

C'est peut-être au niveau de la maîtrise des eaux de surface qui se perdent par ruissellement, ou par évaporation (cas des stagnations, engorgement de surface en raison de mauvaises caractéristiques hydrodynamiques) que la marge de

manoeuvre du paysan est la plus importante. L'amélioration du statut hydrique des terres de cette province est une des composantes fondamentales de l'aménagement ; les deux études de cas sont là pour le montrer. Aussi il faut absolument chercher à limiter, capter, dériver les eaux de ruissellement sur le champ par des ouvrages de petite hydraulique agricole, à réduire l'évaporation et la concurrence des mauvaises herbes par des pratiques culturales, ou encore favoriser le stockage de l'eau en vue d'irrigation de complément (limitation du risque).

Evidemment ces aménagements, de charge lourde pour les paysans, doivent être localisés et dimensionnés sur les systèmes écologiques qui s'y prêtent ; dans notre région les glacis vertisoliques où les sols ne sont pas encore trop dégradés sont certainement ceux qui conviennent le mieux.

Le cas de l'agriculture montagnarde est à part ; elle n'est pas possible sans l'aménagement en terrasses. Son avenir dépend plus du contexte socio-économique. En cas d'abandon définitif, il faut que les versants aménagés soient rapidement reboisés ; en cas du maintien d'une agriculture manuelle, il convient d'entretenir convenablement les murettes, d'éviter les excès de travail sur des terres déjà fragiles, en émiettant la surface du sol, d'utiliser des cultures couvrantes, d'épandre et d'enfouir sur le champ les résidus végétaux (amélioration du statut organique).

La maîtrise de l'érosion (conservation des sols), va le plus souvent de pair avec celle de l'eau. Dans l'ensemble, les sols sont fragiles et très sensibles à l'érosion hydrique. Par contre, les systèmes visant à travailler le sol avant ou au tout début de la saison des pluies, s'ils limitent les pertes par ruissellement, augmentent de façon considérable les pertes en terre. Il y a donc dans ce cas incompatibilité et des bénéfices divergents.

7 - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Malgré certaines difficultés, on peut considérer que les principaux objectifs du projet ont été atteints. Parmi les principales défaillances, on peut citer le recrutement tardif du phytoécologue camerounais, et le report à une date ultérieure du séminaire de présentation et de vulgarisation des résultats du projet. La fin du projet ne marque pas la fin de la recherche initiée ou renforcée ; certaines lignes nécessitent encore une ou deux années d'observations. Actuellement, certains membres du projet approfondissent la réflexion et l'analyse des résultats (2 thèses en cours). Un des acquis importants du projet est aussi celui qui consiste à avoir mobilisé et formé à Maroua une équipe pluridisciplinaire initiée à l'approche globale de l'analyse du milieu naturel en vue du développement rural.

Il faut songer à la continuation de certaines lignes de recherches et à l'ouverture de nouveaux programmes pour les années à venir. Il serait dommage de ne pas utiliser et valoriser les acquis importants de l'actuel projet qui sont principalement une bonne connaissance des sols et de la végétation et de leur fonctionnement en liaison avec la pluviosité de l'année, et des réserves hydriques du sol.

Les programmes devraient s'orienter vers une **restauration des terres marginales** et, en particulier des "hardés" dont certains ne sont pas encore trop dégradés.

Il existe en effet de très grandes surfaces qui sont cultivées sporadiquement en raison des faibles rendements et de l'irrégularité de la production. Les prochaines années devraient être consacrées à étudier et à réaliser des techniques de conservation des eaux et du sol qui permettent à la culture de terminer chaque année son cycle végétatif dans de bonnes conditions et de limiter l'érosion. Par ailleurs, il conviendrait de trouver des critères de délimitation pour celles d'entre elles qui, moyennant certains aménagements peuvent revenir à un bon pâturage.

Il ne s'agit donc, ni de chercher à améliorer les sols de cultures qui produisent déjà régulièrement, ni de chercher à réhabiliter des terres pratiquement incultivables ou nécessitant de gros frais pour cette réhabilitation. Ce sont les terres situées entre les deux extrêmes qui devraient être concernées et pour lesquelles les acquis du programme actuel seraient les mieux valorisés.

Parmi les principales lignes de recherche à développer citons :

(i) Amélioration du bilan d'eau des sols sur les terres cultivées sporadiquement

Sur ces terres pouvant perdre jusqu'à 50 % des eaux de pluie par ruissellement, les agropédologues et hydro-pédologues doivent s'efforcer sur la base d'expérimentations en station et en milieu paysannal, et de recherches sur l'hydrodynamique des sols :

- de proposer des techniques et solutions visant à régulariser les disponibilités en eau pour les cultures : augmentation de l'infiltration, supplémentation par ruissellement, limitation du ruissellement et de l'évaporation sur la parcelle.

- de rechercher l'adéquation entre le calendrier des disponibilités en eau du sol et les cycles végétatifs des variétés cultivées, en vue de la limitation du risque de stress hydrique ; on s'appliquera en particulier à fournir aux aménagistes par des études fréquentielles, les probabilités d'avoir des disponibilités en eau correspondant au moins à 80 % des besoins théoriques de la culture.

Les pratiques culturales et les petits aménagements hydro-agricoles (diguettes, billons, impluviums, etc.) ainsi que le niveau d'intervention, réalisable par le paysan seront privilégiés. Ces travaux seront réalisés sur des parcelles suffisamment grandes afin de déterminer les coûts économiques d'intervention. La recherche s'effectuera sur deux grands types de terroirs et ses résultats confrontés à ceux du volet pastoral doivent aussi conduire à la définition de critères permettant la délimitation des terres à réserver à la culture et au parcours.

(ii) Etudes de la valeur pastorale et de la reconstitution de la végétation sur terres marginales cultivées sporadiquement

Le problème consiste à évaluer les chances de reconstitution d'une savane arborée suite à l'abandon des terres de culture les plus marginales. En effet, en année pluvieuse, de nombreuses surfaces sont mises en culture puis abandonnées jusqu'à l'année exceptionnelle suivante.

- Comment la végétation naturelle se reconstitue-t-elle ?
- Quelle est la valeur pastorale des stades post-cultureux ?
- Quelle est l'influence de ces surfaces en ce qui concerne la collecte de l'eau pour les zones cultivées chaque année à l'aval ?
- Le retour à une végétation à plusieurs strates et en bon état provoque-t-il une diminution importante de ce ruissellement vers l'aval ?

En résumé, est-il intéressant dans le projet d'aménagement de prévoir le retour à terme, à la savane arborée ou bien l'intégration de la jachère pâturée de longue durée est-elle à envisager sans l'assolement ?

(iii) Construction de citernes pour l'alimentation en eau des populations

Le problème d'alimentation en eau des populations durant la saison sèche est crucial et souvent discuté. Aussi sur la base des acquis du projet, des modèles et de l'expérience des paysans tunisiens ("Medjem", "Fesguia", etc.), il est proposé d'étudier et de réaliser la construction et l'étude de citernes enterrées et closes, fonctionnant à partir de types d'impluviums aménagés et permettant de fournir des eaux de qualités supérieures à celles des mares utilisées généralement dans la région et qui conviennent mieux au bétail.

Enfin, il faut continuer à renforcer l'équipe pluridisciplinaire installée à MAROUA en élargissant ses compétences par l'insertion et la formation de spécialistes orientés vers les problèmes liés au développement agro-sylvo-pastoral et au risque climatique de l'agriculture pluviale, et en favorisant des échanges et des transferts de technologie en matière de maîtrise de l'eau depuis les zones Nord Sahara où ses techniques sont mieux maîtrisées depuis longtemps.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADAM J.G., 1957. - L'Acheb des sols sablonneux aux environs de Dakar.
Bull. IFAN, XIX, A, 4 : 1136 - 1153
- ALBERGEL J., 1986. - Evolution de la pluviométrie en Afrique soudano-sahélienne.
Exemple du BURKINA-FASO, col. international sur la révision des normes
hydrologiques suite aux incidences de la sécheresse, CIEH, OUAGADOUGOU,
20-25 mai 1986, p.17.
- ALBERGEL J., 1984 . - Calage du modèle simulateur. Préviation de la crue décenn-
nale sur le bassin versant de BINNDE - ORSTOM - OUAGADOUGOU, 50 p.
- ALBERGEL J., BERNARD A., 1984 . - Etude des paramètres hydrodynamiques des sols
sous pluies simulées. Estimation du ruissellement sur le bassin versant
de KAZANGA - ORSTOM - OUAGADOUGOU, 79 p.
- ALBERGEL J., CASENAVE A., 1984. - Une nouvelle technique d'estimation des crues
décennales des petits bassins versants : les études sous pluies simulées,
CIEH - YAOUNDE, 20-25 février 1984. Compte rendu des Journées Techniques.
pp.515-525.
- ALBERGEL J., CASENAVE A., VALENTIN C., 1985. - Modélisation du ruissellement en
zone soudano-sahélienne, simulation de pluie et cartographie des états
de surface. Journées hydrologiques de MONTPELLIER. Colloques et séminaires
Editions de l'ORSTOM, pp. 75-87.
- ALBERGEL J., RIBSTEIN P., VALENTIN C., 1985. - L'infiltration. Quels facteurs
explicatifs? Analyse des résultats acquis sur 48 parcelles soumises à des
simulations de pluie au BURKINA-FASO. Journées hydrologiques de MONTPELLIER
colloques et séminaires. Editions de l'ORSTOM, pp. 25-48.
- ALBERGEL J., THEBE B., 1986. - Pluie naturelle Pluie simulée. Quelle différence
sur le ruissellement? Gouttes et Splash. Vol. 3 n°1.
- ASSELIN J., M'TIMET A., PONTANIER R. CLERY J., 1987. - Une méthode de caractéri-
sation, en zone aride et semi-aride, des états de surfaces élémentaires
(un m²) soumises à des averses contrôlées - ORSTOM - Département B -
Ministère de l'Agriculture - Direction des Sols - TUNISIE, 17 p.
- ASSELIN J., VALENTIN C., 1978. - Construction et mise au point d'un infiltro-
mètre à aspersion. Cah. ORSTOM - Sér. hydrol. Vol. XX n°4 - 1978, pp.321-
349.
- AUDRE J., 1977. - Les ligneux et subligneux des parcours naturels soudano-
guinéens en COTE D'IVOIRE. Rapport IEMVT, Maison Alfort.

- BRABANT P., 1968. - Sols ferrugineux et sols apparentés du Nord Cameroun. Aspects de leur pédogenèse. ORSTOM, 42 p.
- BRABANT P. et GAVAUD, M., 1985. - Les sols et les ressources en terre du Nord-Cameroun. Carte et notice expl. n°103 : MESRES - IRA , YAOUNDE, ORSTOM. Paris. Ed. ORSTOM, 285 p. + 6 cartes couleur hors texte.
- CASENAVE A., 1982. - Le mini-simulateur de pluie. Conditions d'utilisation et principe de l'interprétation des mesures. Cah. ORSTOM. Sér. hydrol., vol. XIX, 4, pp. 207-227.
- CASENAVE A., 1985.- Programme d'analyse du ruissellement, de l'infiltration et de l'érosion à l'aide des techniques de simulation de pluie. Journées hydrologiques de MONTPELLIER. Colloques et séminaires ORSTOM, pp. 10-17.
- CASENAVE A., KONG J., THIEBAUX J.P., 1984. - Etude du ruissellement sous pluies simulées sur un bassin versant de la COMBA - ORSTOM ADIOPODOUME- BRAZAVILLE, 29 p. + biblio. + annexes.
- CHEVALLIER P., 1982. - Simulation de pluie sur deux bassins versants sahéliens (MARE D'OURSI - HAUTE VOLTA). Cah. ORSTOM. Sér. hydrol. XIX n°4, pp.253-297.
- CHEVALLIER P., 1983. - L'indice des précipitations antérieures. Evaluation de l'humectation des sols des bassins versants représentatifs. Cah. ORSTOM. Sér. hydrol. vol. XX n°3 et 4, pp.179-189.
- CHEVALLIER P., CLAUDE J., POUYAUD B., BERNARD A., 1985. - Pluies et crues au Sahel. Hydrologie de la mare d'OURSI (BURKINA-FASO). Travaux et documents n°190 - ORSTOM Paris, 251 p.
- COLLINET J., VALENTIN C., 1979 a. - Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives. Applications agronomiques. Cah. ORSTOM. Sér. Pédol. Vol. XVII n°4, pp. 283-328.
- COLLINET J., VALENTIN C., 1979 b. - Un schéma des interrelations hydrodynamiques dans les milieux naturels et cultivés, valorisation des données morphologiques in : Informatique et Biosphère : actes du colloque d'ABIDJAN, pp. 155 - 177.
- COLLINET J., VALENTIN C., 1982. - Effects of rainfall intensity and soil surface heterogeneity on steady infiltration rate. XII congress Int. de science du sol. NEW-DELHI, février 1982, p.10.

- CORNET A., 1981. - Bilan hydrique et son rôle dans la production de la strate herbacée de quelques phytocoenoses sahéliennes au Sénégal. Thèse de doctorat - USTL - MONTPELLIER.
- DA COSTA DOS REIS SILVA, 1986. - Essais d'élaboration et d'utilisation d'un modèle spatialisé de simulation des crues (concept d'unités participantes) Thèse d'Université. Université des Sciences et Techniques du Languedoc - MONTPELLIER 206 p. + Annexes.
- DURRANTON J.F., 1978. - Etude phénologique de groupements herbeux en zone tropicale semi-aride I : Méthodologie. *Adansonia*, 2, 18 (2) : 183-197
- ESCADAFAL R., N'TIMET A., ASSELINE J., 1986. - Etude expérimentale de la dynamique superficielle d'un sol aride (Bir Lahmar - Sud tunisien). Résultats des campagnes de mesures sous pluie simulée. ORSTOM. dép. B - UR 12 - TUNIS P.36 + ann.
- ESTABROOK G.F., WINSOR J.A., STEPHENSON A.G., HOWE H.F., 1982. - When are two phenological patterns different? *Bot. Gaz.* 143 (3) : 374-378.
- EVANARI M., GUTTERMAN Y., 1976. - Observations on the secondary succession of three plant communities in the Neger desert, Israël I. *Artemisietum herbae albae*. Dans : JACQUES R. -ed.), *Etude de Biologie Végétale*, CNRS, Paris: 57-86.
- EYOG MATIG O., 1982. - Contribution à la sylviculture de l'Eucalyptus au Nord-Cameroun. Thèse 3ème cycle, Univ. Paul Sabatier, Toulouse, 111p.
- FLORET C., PONTANIER R., 1982. - L'aridité en TUNISIE présaharienne. Travaux et documents de l'ORSTOM n°150 - PARIS, 544 p.
- FLORET C., PONTANIER R., 1984. - Aridité climatique, aridité édaphique. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 131, Actual. Bot., 1984 (2/3/4), pp. 265-275.
- GAVAUD M., BARBERY J., MARTIN D., SEGALIN P., SIEFFERMANN G., 1980. - Carte pédologique du Nord Cameroun à 1/100 000 feuille de BOGO. POUSS -ONAREST/IRAT, YAOUNDE, 87 p. multig. 1 carte couleur hors texte.
- GILLON D., 1983. - The fire problem in tropical savannas. Dans : BOURLIÈRE F. (éd.), 1983, *Ecosystems of the world n°13 : Tropical savannas*. Elsevier Scient. Publis. Comp. , AMSTERDAM - OXFORD - NEW YORK, chap. 30 : 617-641.

- GIODA A., 1983. - Etude du rapport Pluie-Débit sur un petit bassin versant de savane à l'aide d'un infiltromètre à aspersion (KORHOGO - COTE D'IVOIRE). Rapport d'élève - ORSTOM-ABIDJAN.
- GODRON M., POISSONNET J., 1972. - Quatre thèmes complémentaires pour la cartographie de la végétation et du milieu (séquence de végétation, diversité du paysage, vitesse de cicatrisation, sensibilité de la végétation). Bull. soc. languedocienne de géographie; 6 (3) : 329-356.
- GRANIER P. et CABANIS Y., 1975. - Note sur la phénologie des graminées de savane. Rev. d'Elev. Vet. Pays Trop. 28 (1) : 79-82.
- GROUZIS M., et SICOT M., 1980. - Une méthode d'étude phénologique de populations d'espèces ligneuses sahéliennes. Influence de quelques facteurs écologiques. A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan (Haute-Volta) ORSTOM, 20 p.
- HOFFMAN O., 1985. - Pratiques pastorales et dynamique du couvert végétal en pays Lobi (Nord-Est Côte d'Ivoire). Travaux et documents n°189-ORSTOM - Paris.
- HUMBEL F.X., BARBERY J., 1974. - Carte pédologique de reconnaissance. Feuille GAROUA à 1/200.000. Notice explicative n°53. ORSTOM YAOUNDE, 1 vol. 113p. 19 Fig.
- KEMP P.R., 1983. - Phenological patterns of Chihuahuan desert plants in relation to the timing of water availability. Journal of Ecology 71 : 427-436.
- KUHLER M.A., LINGSLY R.K., 1951. - Predicting the runoff from storm rainfall. WEATHER bureau. US. Department of Commerce. Research paper n°34, WASHINGTON, 9 p., 7 fig.
- 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. Cah. Orstom. Sér. hydrol. Vol. XIV n°4, pp.299-344.
- LAMOTTE M. et BOURLIERE F., 1983. - Energy flow and nutrient cycling in tropical savannas. Dans : BOURLIERE F. (ed.) , Ecosystems of the world "n°13" : Tropical savannas. Elsevier Scient. Publis. Comp. Amsterdam - Oxford - New York, chap. 28 : 583-603.
- LE FLOC'H E., 1969. - Caractérisation morphologique des stades et phases phénologiques dans les communautés végétales. Doc. n°45 CEPE Louis Emberger CNRS Montpellier.

- LETOUZEY R., 1985. - Notice de la carte phytogéographique du Cameroun au 1/500.000 1)S-S : Domaine sahélien et soudanien (herbier national) YAOUNDE, CAMEROUN. ICI de la vég. TOULOUSE, FRANCE : 1-26.
- LONG G., 1974. - Diagnostic phyto-écologique et aménagement du territoire. I) Principes généraux et méthodes. Collection d'écologie 4. Masson et Cie. Editeurs.
- MARTIN D., 1961. - Carte pédologique du Nord-CAMEROUN. Feuille MORA 1/100 000. IRCAM- YAOUNDE, ORSTOM PARIS, 100 p. multig. 1 carte couleur hors texte.
- MARTIN D., 1963. - Carte pédologique du Nord-CAMEROUN. Feuille KAELE. 1/100 000. IRCAM-YAOUNDE, ORSTOM PARIS, 100 p. multif. 1 carte couleur hors texte.
- MENAUT J.C., 1983. - The vegetation of african savannas. Dans : BOURLIERE F. (éd.) "Ecosystems of the world" n°13 : Tropical savannas. Elsevier Scient. Publis Comp. AMSTERDAM - OXFORD - NEW YORK, chap.6 : 109-149.
- MENAUT J.C. et CESAR J., 1979. - Structure and primary productivity of Lamto savannas, Ivory Coast. Ecology, 60(6) : 1197 - 1210.
- MONASTERIO M., SARMIENTO G., 1976. - Phenological strategies of plant species in the tropical savanna and the semi-deciduous forest of the Venezuelan Llanos. Journal of Biogeography 3 : 325 - 356.
- NAAH E., 1978. - Etude hydrologique du mayo TSANAGA à MINGLIA. Rapport définitif ONAREST IRTISS - YAOUNDE - CAMEROUN, 38 p. + figures + annexes.
- OLIVRY J.C., 1976. - Transports solides en suspension au CAMEROUN-IRTISS. YAOUNDE CAMEROUN, 18 p. + bibliographie
- OLIVRY J.C., 1984. - Fleuves et rivières du CAMEROUN. Collect. Monographies hydrologiques . ORSTOM n°9. MASRES/YAOUNDE. ORSTOM/PARIS, 1986, 592p. + annexes.
- ORSTOM, CIEH, 1978. - République du CAMEROUN. Précipitations journalières de l'origine des stations à 1972. ORSTOM PARIS, tomes I et II.
- OSBORN H.B., LANEL L., 1969. - Precipitation - runoff relations for very small semi-arid Rangeland Water sheds. Water resourches Research. U.S.A. Vol. 5 n°2, pp. 419-425.

- PELLERAY H., 1957. - Etude des bassins versants expérimentaux du MAYO-KERENG.
ORSTOM YAOUNDE-CAMEROUN.
- PIOT J., NEBOUT J.P., NANOT R., TOUTAIN B., 1980. - Utilisation des lignes
sahéliennes par les herbivores domestiques. Etude quantitative dans la zone
zone Sud de la mare d'Oursi (Haute-Volta). Groupement d'étude et de Recherches
pour le développement et l'agronomie tropicale. CTFT - IEMVT - OUAGADOUGOU.
- PONTANIER R., et KOTTO-SAME J., 1982. - Cartes des ressources en sols de quatre zone-
test du Nord CAMEROUN. IRA-Yaounde , 47 p. mult. 4 cartes h.t.
- PONTANIER R., et MOUKOURI-KUOH, H., 1981. - Propositions d'action de recher-
ches pédologiques dans le Nord CAMEROUN IRA/NKOLBISSON YAOUNDE 18p.
- PONTANIER R., MOUKOURI KUOH H., SAYOL R., SEINY-BOUKAR, THEBE B., 1984. -
Comportement hydrique et sensibilité à l'érosion de quelques sols du Nord
CAMEROUN soumis à des averses contrôlées. MESRES - IRA - IRGM - YAOUNDE -
CAMAROUN, 71 p.
- PONTANIER R., MOUKOURI-KUOH H., SAYOL R., SEYNI-BOUKAR, THEBE B., 1985. -
Apport de l'infiltromètre à aspersion pour l'évaluation des ressources
en sols des zones soudano-sahéliennes du CAMEROUN. Journées hydrolo-
giques de MONTPELLIER. Colloques et séminaires ORSTOM pp.165 - 189.
- POUPON H., 1979. - Etude de la phénologie de la strate ligneuse à Fété-Oié
(Sénégal septentrional) de 1971 à 1977. Bull. IFAN 41, A, 1 : 44-85.
- PRODUCTIVITE DES PATURAGES SAHELIENS, 1982. - Une étude des sols, des végéta-
tions et de l'exploitation de cette ressource naturelle. Springer,
Verlag, WAGENINGEN, PAYS-BAS.
- RODIER J.A., AUVRAY C., 1965. - Estimation des débits de crue décennale pour
les bassins versants de superficie inférieure à 200 km² en Afrique Occi-
dentale. ORSTOM-CIEH. PARIS, p.46.
- RODIER J.A., RIBSTEIN P., 1986. - Transposition des données hydrologiques.
Utilisation des bassins représentatifs pour la prédétermination des
crues et l'estimation des apports au SAHEL. Colloque CIEH-OUAGADOUGOU.
Mai 1986. ORSTOM MONTPELLIER.
- ROOSE E., 1977. - Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années
de mesures en petites parcelles expérimentales. Travaux et documents
de l'ORSTOM n°78. PARIS. 108 p.

- SARMIENTO G., MONASTERIO M., 1983. - Life forms and phenology . In :
BOURLIERE F. (ed.) : Ecosystems of the world n°13 : Tropical savannas.
Elsevier Scient. Publis. Comp. AMSTERDAM - OXFORD - NEW YORK, chap.5:
79-108.
- SEGALEN P., 1962. - Carte pédologique du NORD CAMEROUN au 1/100 000. Feuille
de MAROUA - IRCAM - YAOUNDE, ORSTOM Paris, 67 p. + 1 carte couleur
hors texte.
- SEGALEN P., VALLERIE M., 1963. - Carte pédologique du Nord CAMEROUN à
1/100 000. Feuille de MOKOLO- IRCAM - YAOUNDE, ORSTOM Paris, 72p.
multigr. 2 cartes couleur hors texte à 1/100 000 et 2 cartes h.t. à
1/50 000.
- SEGUIS L., 1986. - Recherche pour le SAHEL d'une fonction de production jour-
nalière (lame précipitée - lame écoulee) et sa régionalisation. Thèse
de doctorat. Université des Sciences et Techniques du Languedoc.
MONTPELLIER, 326 p.
- SIEFFERMANN, G., 1963. - Carte pédologique du Nord CAMEROUN à 1/100 000.
Feuille de KALFOU. IRCAM - YAOUNDE, ORSTOM Paris, 65 p. multigr. + 1
carte couleur hors texte.
- THEBE B., 1987. - Hydrodynamique de quelques sols du Nord CAMEROUN. Bassins
versants de MOUDA. Contribution à l'étude des transferts d'échelles.
Thèse d'Université. Université des Sciences et Techniques du Languedoc.
Montpellier. 238p. + annexes.
- THEBE B., SAYOL R., SEYNI-BOUKAR , 1984. - Erosion et bilan hydrique au Nord-
CAMEROUN. Les sites de MOUDA. Données techniques. MESRES-IRGM-IRA -
YAOUNDE. multigr. 12 p. + annexes.
- THEBE B., AYANGMA A., SEYNI-BOUKAR, SIGHOMNOU D., 1985. - Bassins versants
de MOUDA. Rapport hydrologique. Campagne 1984. MESRES-IRGM-IRA -
YAOUNDE. Multigr. 32 p. + annexes.
- THEBE B., SEYNI-BOUKAR, ABEGA R., DJOKO-PAWA A., MAINAM F., 1986. - Les
bassins versants de MOUDA. Rapport hydrologique. Campagne 1985. MESRES -
IRGM-IRA - YAOUNDE. Multigr. , 44p. + annexes.
- TOGOLA M., 1982. - Contribution à l'étude de la végétation sahelo-soudanienne
et des potentialités pastorales de la région de KAARTA (MALI). Thèse
3è. cycle PARIS Sud (XI).Centre d'Orsay.

- UNESCO, 1977. - Carte de la répartition mondiale des régions arides. Notes techniques du MAB. 7. UNESCO. Paris.
- U.S.D.A et F.A.C, 1978. - Inventaire des Ressources du Nord CAMEROUN, Afrique. Projet "Etude de Développement de la zone Soudano-sahélienne". 190p.
- VAILLE J., 1970. - Essais de mise en valeur des sols "Harde" du Nord CAMEROUN. Agronomie tropicale. XXV(5), 472-490.
- VALENTIN C., 1981. - Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de régions subdésertiques (AGADEZ-NIGER). Dynamique de formation et conséquence sur l'économie de l'eau. Coll. Etudes et thèses de l'ORSTOM. Thèse docteur troisième cycle. Université PARIS VII, 229 p.
- VALENTIN C., 1985. - Différencier les milieux selon leur aptitude au ruissellement : une cartographie adaptée aux besoins hydrologiques. Journées hydrologiques de l'ORSTOM à MONTPELLIER (17-18 septembre 1985). Colloques et séminaires. Ed. ORSTOM, pp.50-74.
- VUILLAUME G., 1974. - L'abattement des précipitations journalières en Afrique intertropicale. Variabilité et précision de calcul. Cah.orstom. Sér.hydro. Vol. XI n°3, pp. 205-240.
- WALKER B.H., NOY-MEIR I., 1982. - Aspects of the stability and resilience of savanna ecosystems. Dans : HUNTLEY B.J. et WALKER B.M. (ed.) : Ecological Studies, 42 : Ecology of tropical savannas. Springer - Verlag - Berlin - Heidelberg - New York : 556-589.
- WALTER H., 1971. - General Features of Vegetation of Subtropical Arid Regions. Dans : WALTER H., Ecology of tropical and subtropical vegetation. Oliver et Boyd, Edimburg . Chap. VII : 266-298.

A N N E X E 3

Relevés de reconnaissance et listes floristiques
des systèmes écologiques :

HV₁, VM₂/VM₁, FR₂/FR₁, A, FS₃/FS₂, VD₁, HN₁

RELEVÉ DE RECONNAISSANCE

- Nom du périmètre : HARDE (Mouda) HV1
- N° de la station :
- Date : 15.9.87
- Auteur : P. DONFACK
- Document sur lequel la station est repérée : Carte des systèmes écologiques du B.V. de Mouda
- Surface de la station m2 : 25 m2 (pour herbacées)
- Altitude : 450 (m)

Utilisation du sol

- x Savane arbustive
- Savane herbeuse
- Culture annuelle + jachère
- Verger
- Plantation forestière
- Jachère ancienne
- Culture de décrue (contre saison)
- Parc réserve
- Irrigation
- Nature culture :
- 1ère espèce dominante : *Lanea humilis* - *Schizachyrium exile*
- 2ème espèce dominante : *Dichrostachys glomerata* - *Chloris lamproparia*

Estimation du recouvrement des pérennes par strate (%)

- Strate arborée (< 2 m) : 2 %
- Strate arbustive (0-50 - 2m) : 6 %
- Strate basse (< 0,5 m)
- ligneux : 1 %
- herbacées : 75 %

Estimation du recouvrement (%)

- des annuelles : 75 %
- du sol nu : 44 %
- des cailloux : 1 %
- de la litière : 55 %

Etat de la végétation

- Très dégradée
- x Dégradée
- Etat moyen
- Bon état

Unité morphologique

- Crête, sommet escarpé
- Versant à colluvions caillouteuses
- Inselberg
- x Glacis
- Plateau
- Pénéplaine
- Plaine alluviale

Terrasse, ancienne, récente
Ancien cordon dunaire
Bas-fond inondable
Autre (préciser)

Nature de l'assise (support couche meuble)

- x Granite
- Gneiss
- Micaschiste
- Quartzite
- Roche acide volcanique
- Roche basique volcanique
- Marbre
- Cuirasse carapace
- Argile de néoformation (Lac Tchad)
- Autre (à préciser)

Appréciation de la pente

- x Faible 0 - 4 %
- Moyenne 4 - 15 %
- Très forte > 15 %

Nature de la couche meuble

- x Texture légère (sable à sablo-argileux)
- Texture moyenne (limon à argilo-sableux)
- Texture lourde (limono-argileux à argileux)
- A charge grossière
- x A nodules ferrugineux
- Autre (à préciser)

Épaisseur couche (appréciation)

- Peu épaisse (< 40 cm)
- Moyennement épaisse (40 - 80 cm)
- x Très épaisse (> 80 cm)

Humidité apparente de la station
(en fonction bioclimat local)

- x Sec
- Normal
- Plus humide, présence nappe phréatique
- Inondable

Nappe phréatique

- Permanente
- Temporaire
- x Profondeur lors du relevé : cm

Erosion hydrique observée

- x Battance
- Rigoles
- Griffes
- Ravines
- x Décapage

LISTE FLORISTIQUE

Strate I 0 - 50cm Recouvrement
 II 50cm - 2m Herb. : 75 %
 III 2 m Lign. : 10 %

Station : HARDE
 Date : 15.9.87
 Auteur : P. DONFACK

HV1

		N°	NOM DE L'ESPECE	REC. (%)	STRATE	OBSERVATIONS
ARBRES		1	Acacia seyal	r	III	
		2	Acacia sieberana	r	III	
		3	Anogeissus leiocarpus	1	III	
		4	Balanites aegyptiaca	0,5	III	
		5	Boswellia dalzielii	r	III	
		6	Dalbergia melanoxylon	r	III	
		7	Diospyros mespiliformis	r	III	
		8	Entada africana	r	III	
		9	Gardenia ternifolia	r	III	
		10	Sclerocarya birrea	r	III	
		11	Sterculia setigera	r	III	
		12	Tamarindus indica	r	III	
ARBUSTES et		13	Acacia gerrardii	0,5	III	
		14	Acacia hockii	1,5	III	
		15	Acacia senegal	0,5	II	
		16	Cassia singueana	r	II	
JEUNES ARBRES		17	Combretum aculeatum	r	I	
		18	Combretum fragrans	0,5	II	
		19	Combretum glutinosum	0,5	II	
		20	Commiphora pedunculata	r	II	
		21	Dichrostachys glomerata	1,5	II	
		22	Feretia apodantera	r	II	
		23	annea fruticosa	r	II	
		24	Lannea humilis	1,5	II	
		25	Piliostigma reticulata	r	II	
		26	Ximenia americana	r	II	
		27	Ziziphus mauritiana	0,5	II, III	
LIANES		28	Asparagus flagellaris	r	I	Ligneux sarmentifère
		29	Capparis corymbosa	r	II	Ligneux
		30	Capparis tomentosa	r	II	Ligneux
		31	Cissus quadrangularis	r	I, II, III	Grasse
HERBES	GRAMINOIDES	32	Alloteropsis semialata	r	I	
		33	Andropogon gayanus	3	II	
		34	Andropogon pseudapricus	3	II	
		35	Aristida hordeacea	10	I	Localement dominant
		36	Brachiaria deflexa	1	I	
		37	Brachiaria lata	1	I	
		38	Brachiaria xantholeuca	1	I	
		39	Chloris lamproparia	10	I	Dominant
		40	Echinochloa colona	*	I	
		41	Loudetia togoensis	10	II	Localement dominant
		42	Microchloa indica	12	I	Dominant
		43	Panicum laetum	2	I	
		44	Pennisetum pedicellatum	4	I	
		45	Schizachyrium exile	5	I	
	46	Schoenefeldia gracilis	15	I	Dominant	
	47	Setaria ischoemoides	r	I		
	48	Setaria sphacelata	1	I		
	49	Sporobolus festivus	2	I	Pérenne	
		PHORBES	50	Cassia occidentalis	2	I
	51		Courbonia virgata	1	I	Pérenne
	52		Limnopsis cf barteri	6	I	Pérenne
	53		Hygrophila auriculata	3	I	Points d'eau

CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES HORIZONS DU
SOL DE LA STATION N°1 (HARDE)

HV1

	HORIZON 0	HORIZON 1	HORIZON 2	HORIZON 3	HORIZON 4
Epaisseur en cm (z)	0,5	10	30	30	50
Pierrosité estimée en % du volume	0	0	0	0	0
Texture appréciée	S a	AS /SA	As	A	A
Texture mesurée par granulométrie					
Porosité appréciée	vacuoles	faible	faible	faible	faible
Enracinement % relatif					
Teneur en CaCO ₃ (appréciée)%	0	0	0	3 %	3 %
Teneur en CaCO ₃ (mesurée) %					
Humidité pondérale équivalente au point flétrissement : ψ 16 bars PF 4,2 (PF %)					
Humidité pondérale équivalente à la capacité au champ : ψ 0,5 bar PF 2,7 (CC %)					
Densité apparente (DA)	1,57	1,70	1,77	1,77	
Réserve utile à la végétation RU (mm)=(CC-PF).DA.z.10 ⁻¹					
Réserve utile à la végétation RU (mm) estimée					

RELEVÉ DE RECONNAISSANCE

VM2 / VM1

- Nom du périmètre : VERTISOL (Mouda)
- N° de la station :
- Date : 15.9.87
- Auteur : P. Ponfack
- Document sur lequel la station est repérée :

- Surface de la station m² : 25 m² (herbacées)
- Altitude : 450 (m)

Utilisation du sol

- x Savane arbustive
- Savane herbeuse
- Culture annuelle + jachère
- Vergers
- Plantation forestière
- Jachère ancienne
- Culture de décrue (contre saison)
- Parc réserve
- Irrigation
- Nature culture :

- 1ère espèce dominante : Acacia seyal - Loudetia togoensis
- 2ème espèce dominante : Acacia hockii - Andropogon gayanus

Estimation du recouvrement des pérennes par strate (%)

- | | |
|-----------------------------------|--------|
| - Strate arborée (> 2 m) | : 3 % |
| - Strate arbustive (0-50 - 2 m) | : 17 % |
| - Strate basse (< 0,5 m) -ligneux | : 5 % |
| -herbacées | : 95 % |

Estimation du recouvrement (%)

- | | |
|-----------------|--------|
| - des annuelles | : 95 % |
| - du sol nu | : 78 % |
| - des cailloux | : 3 % |
| - de la litière | : 19 % |

Etat de la végétation

- Très dégradée
- Dégradée
- Etat moyen
- x Bon état

Unité morphologique

- Crête, sommet escarpé
- Versant à colluvions caillouteuses
- Inselberg
- x Glacis
- Plateau

Pénéplaine
Plaine alluviale
Terrasse, ancienne, récente
Ancien cordon dunaire
Bas-fond inondable
Autre (préciser)

Nature de l'assise (support couche meuble)

Granite
Gneiss
Micachiste
Quartzite
Roche acide volcanique
Roche basique volcanique
Marbre
Cuirasse carapace
x Argile de néoformation (Lac Tchad)
Autre (à préciser)

Appréciation de la pente :

x Faible 0 - 4 %
Moyenne 4 - 15 %
Très forte > 15 %

Nature de la couche meuble

Texture légère (sable à sablo-argileux)
Texture moyenne (limon à argilo-sableux)
x Texture lourde (limono-argileux à argileux)
A charge grossière
x A nodules calcaires
A nodules ferrugineux
Autre (à préciser)

Épaisseur couche (appréciation)

Peu épaisse (< 40 cm)
Moyennement épaisse (40 _ 80 cm)
x Très épaisse (> 80 cm)

Humidité apparente de la station
(en fonction bioclimat local)

Sec
Normal
Plus humide, présence nappe phréatique
x Inondable

Nappe phréatique

Permanente
Temporaire
Profondeur lors du relevé : cm

Erosion hydrique observée

Battance
Rigoles
Griffes
Ravines
Décapage

100
LISTE FLORISTIQUE

Strate I 0 - 50 cm Recouvrement Station : VERTISOL MODAL VM2 / VM1
 II 50cm - 2 m Herb. : 100 % Date : 15.9.87
 III 2 m Lign. : 25 % Auteur : P. DONFACK

	N°	NOM DE L'ESPECE	REC. (%)	STRATE	OBSERVATIONS
ARBRES	1	Acacia caffra	1	III	
	2	Acacia seyal	15	III	
	3	Anogeissus leiocarpus	1	III	
	4	Balanites aegyptiaca	0,5	III	
	5	Boswellia dalzielii	r	III	
	6	Dalbergia melanoxylon	r	III	
	7	Entada africana	1	III	
	8	Sclerocarya birrea	r	III	
	9	Sterculia setigera	r	III	
	10	Tamarindus indica	r	III	
ARBUSTES ET JEUNES ARBRES	11	Acacia gerrardii	r	II	
	12	Acacia hockii	6	II	
	13	Acacia senegal	0,5	II	
	14	Cassia singuana	r	II	
	15	Combretum collinum	r	II	
	16	Combretum fragrans	0,5	II	
	17	Combretum glutinosum	0,5	II	
	18	Dichrostachys glomerata	4	II	
	19	Feretia apodantera	2	II	
	20	Lanea fruticosa	r	II	
	21	Lanea humilis	r	II	
	22	Mitragyna inermis	0,5	II	
	23	Piliostigma reticulata	1	II	
	24	Piliostigma thonningii	r	II	
	25	Ximenia americana	r	II	
	26	Ziziphus mauritiana	2	II	
LIANES	27	Capparis corymbosa	0,5	II	
	28	Phyllanthus muellerianus	r	II	Ligneux
	29	Andropogon gayanus	15	I	
	30	Andropogon pseudapricus	4	I, II	
	31	Aristida adscensionis	2	I, II	
	32	Aristida hordeacea	4	I	
	33	Chloris pilosa	1	I	
	34	Dinebra retroflexa	0,5	I	
	35	Eragrostis aspera	r	I	
	36	Eragrostis sp	r	I	
	37	Heteropogon contortus	2	I II	Pérenne
	38	Kohautia grandiflora	3	I	
	39	Loudetia togoensis	10	I	
	40	Gladiolus pttacinus	r	I	
	41	Panicum laetum	1	I	
	42	Pennisetum pedicellatum	4	I	
	43	Echinochloa colona	2	I	
	44	Schizachyrium exile	4	I	
	45	Schoenefeldia gracilis	5	I	
	46	Setaria pumila	5	I	
	47	Tripogon minimus	1	I	
		48	Alysicarpus rugosus	0,5	I
49		Cassia mimosoides	5	I	
50		Centaurea perrottetii	r	I	
51		Centella asiatica	4	I	Localement dom.
52		Chrisanthellum americana	0,5	I	
53		Clitoria ternata	r	I	
54		Crotalaria glauca	r	I	
55		Crotalaria retusa	r	I	Bisannuelle
56		Dolichos sp	r	I	
57		Dimiopsis cf barteri	4	I	
58		Erioptera Dc	r	I	Pérenne
59		Hibiscus articulatus	r	I	
60		Hygrophila auriculata	3	I	
61		Liliacée	1	I	Pérenne
62		Gynura miniata	r	I	
63		Sesbania pachycarpa	0,5	I	
64		Spermacoce ruelliae	5	I	
65	Spermacoce filifolia	4	I		
66	Stylochiton lancifolius	1	I	Pérenne	
67	Tacca involucrata	r	I	Pérenne	

CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES HORIZONS DU
SOL DE LA STATION N° S3 (VERTISOL)

	HORIZON 0	HORIZON 1	HORIZON 2	HORIZON 3	HORIZON 4
Epaisseur en cm (z)	5	35	60	60	
Porosité estimée en % du volume	0	0			
Texture appréciée	A	A	A	A	
Texture mesurée par granulométrie					
Porosité appréciée	Faible	Faible	Faible	Faible	
Enracinement % relatif					
Teneur en CaCO ₃ (appréciée)%	0	0	3%	10%	
Teneur en CaCO ₃ (mesurée) %					
Humidité pondérale équivalente au point flétrissement : ψ 16 bars PF 4,2 (PF %)					
Humidité pondérale équivalente à la capacité au champ : ψ 0,5 bar PF 2,7 (CC %)					
Densité apparente (DA)	1,76	1,76	1,87	1,84	
Réserve utile à la végétation RU (mm)=(CC-PF).DA.z.10 ⁻¹					
Réserve utile à la végétation RU (mm) estimée					

RELEVÉ DE RECONNAISSANCE (FR2 / FR1)

- Nom du périmètre : FERRUGINEUX (MOUDA)
- N° de la station :
- Date : 15.9.87
- Auteur : P. DONFACK
- Document sur lequel la station est repérée : Carte des systèmes écologiques du B.V. de Mouda
- Surface de la station m2 : 25 m2 (pour herbacées)
- Altitude : 450 (m)

Utilisation du sol

- Savane arbustive
- Savane herbeuse
- Culture annuelle + jachère
- Verger
- Plantation forestière
- x Jachère ancienne
- Culture de décrue (contre saison)
- Parc réserve
- Irrigation
- Nature culture
- 1ère espèce dominante : Anogeissus leiocarpus - Loudetia togoensis
- 2ème espèce dominante : Sclerocarya birrea - Setaria pumila

Estimation du recouvrement des pérennes par strate (%)

- Strate arborée (> 2 m) : 25 %
- Strate arbustive (0-50 - 2 m) : 10 %
- Strate basse (< 0,5 m) - ligneux : 5 %
-herbacées:97%

Estimation du recouvrement (%)

- des annuelles : 97 %
- du sol nu : 65 %
- des cailloux : 3 %
- de la litière : 32 %

Etat de la végétation

- Très dégradée
- Dégradée
- Etat moyen
- x Bon état

Unité morphologique

- Crête, sommet escarpé
- Versant à colluvions caillouteuses
- Inselberg
- Glacis
- Plateau
- x Pénéplaine

FR₂

Plaine alluviale
Terrasse, ancienne, récente
Ancien cordon dunaire
Bas-fond inondable
Autre (préciser)

Nature de l'assise (support couche meuble)

- x Granite
 - Gneiss
 - Micaschiste
- x Quartzite
 - Roche acide volcanique
 - Roche basique volcanique
 - Marbre
 - Cuirasse carapace
 - Argile de néoformation (Lac Tchad)
 - Autre (à préciser)

Appréciation de la pente

- x Faible 0 - 4 % (variable en dehors de la station : entre 4 et 15 %)
- Moyenne 4 - 15 %
- Très forte 15 %

Nature de la couche meuble

- Texture légère (sable à sablo-argileux)
- Texture moyenne (limon à argilo-sableux)
- Texture lourde (limono-argileux à argileux)
- x A charge grossière
- A nodules calcaires
- x A nodules ferrugineux
- Autre (à préciser)

Épaisseur couche (appréciation)

- Peu épaisse (< 40 cm)
- Moyennement épaisse (40-80 cm)
- x Très épaisse (> 80 cm)

Humidité apparente de la station
(en fonction bioclimat local)

- Sec
- x Normal
 - Plus humide, présence nappe phréatique
- Inondable

Nappe phréatique

- x Permanente
 - Temporaire
- x Profondeur lors du relevé : cm

Erosion hydrique observée

- Battance
- Rigoles
- x Griffes
- Ravines
- Décapage

LISTE FLORISTIQUE (suite)

Strate I 0 - 50 cm Recouvrement Station : FERRUGINEUX (FR2-FR1)
 II 50 cm - 2m Herb.: 100 % Date : 15.9.87
 III 2 m Lign. : Auteur : P. DONFACK

	N°	NOM DE L'ESPECE	Rec. (%)	STRATE	OBSERVATIONS
Arbuste	95	Securinega vimosa	r	II	
Lianes	96	Ampelocissus macrocirrha	r	I	
	97	Ampelocissus multistriata	r	I	
	98	Leptadenia hastata	r	I, II	
Graminoïdes	99	Ascolepis protea	r	I	Cyperacée
	100	Cyperus diformis	r	I	"
	101	Alysicarpus rugosus	2	I	
	102	Aspilia africana	r	I	
	103	Cissus popunea	r	I	
	104	Citriullus vulgaris	r	I	
	105	Clerodendrum alatum	r	I	
	106	Cochlospermum planchoni	r	I	Pérenne
	107	Crossopetyx febrifuga	r	I	
	108	Crotalaria microcarpa	r	I	
	109	Crotalaria oronoïdes	r	I	
	110	Desmodium gangeticum	r	I	
	111	Euphorbia polycnemoïdes	r	I	
	112	Evolvulus alsinoïdes	r	I	
	113	Gladiolus psittacinus	r	I	Pérenne
	114	Ipomea eriocarpa	r	I	
	115	Pandiaka hadelotii	r	I	
	116	Physalis micrantha	r	I	
	117	Senecio Chemperi	r	I	
	118	Sida acuta	r	I	Pérenne
	119	Striga hermontheca	r	I	
	120	Striga sp.	r	I	
	121	Walteria indica	r	I	Pérenne

FR ₂ /FR ₃	N°	NOM DE L'ESPECE	REC.(%)	STRATE	OBSERVATIONS		
ARBRES	1	Anogeissus leiocarpus	10	III	Dominante		
	2	Balanites aegyptiaca	1	III			
	3	Boswellia dalzielii	4	III			
	4	Dalbergia melanoxylon	r	III			
	5	Diospyros mespiliformis	r	III			
	6	Entada africana	r	III			
	7	Gardenia ternifolia	0,5	III			
	8	Lannea cf barteri	r	III			
	9	Lannea sp	r	III			
	10	Sclerocarya birrea	5	III			
	11	Sterculia setigera	5	III			
	12	Terminalia avicennioides	0,5	III			
ARBUSTES ET JEUNES ARBRES	13	Acacia hockii	0,5	III	Dom. sur jachère		
	14	Acacia senegal	1	II			
	15	Annona senegalensis	5	II			
	16	Boscia senegalensis	r	II			
	17	Bridelia ferruginea	3	II			
	18	Combretum aculeatum	0,5	II			
	19	Combretum collinum	2	II			
	20	Combretum fragrans	1	II			
	21	Combretum glutinosum	3	II, III			
	22	Dichrostachya glomerata	4	II			
	23	Guiera senegalensis	3	II			
	24	Hexalobus monopetalus	r	II			
	25	Lannea fruticosa	0,5	II			
	26	Ptilostigma reticulata	4	II			
	27	Ptilostigma thonningii	4	II			
	28	Pterocarpus lucens	r	II			
	29	Securinega virosa	r	II			
	30	Strychnos spinosa	2	II			
	31	Ziziphua sp	0,5	II			
LIANES	32	Cissus cornifolia	5	II	Fréquente		
	33	Cissus sp	0,5	I			
	34	Grewia sp	0,5	I			
	35	Phyllanthus muellerianus	1	II			
GRAMINOIDES	36	Alloterpis semialata	7	I	Parfois pérenne		
	37	Andropogon gayanus	2	II			
	38	Andropogon pseudapricus	8	I			
	39	Aristida adscensionis	1	I			
	40	Brachiaria lata	1	I			
	41	Brachiaria stigmatifera	1	I			
	42	Brachiaria xantholeuca	0,5	I			
	43	Chloris lamprocarpa	0,5	I			
	44	Chloris pilosa	5	I			
	45	Cymbopogon giganteus	1	I			
	46	Dactyloctenium aegyptium	2	I			
	47	Digitaria ciliaris	1	I			
	48	Digitaria gayana	0,5	I			
	49	Digitaria nuda	0,5	I			
	50	Eragrostis ciliaris	1	I			
	51	Eragrostis turgida	2	I			
	52	Heteropogon contortus	3	I			
	53	Loudetia togoensis	40	I, II			
	54	Oryza barthii	1	I			
	55	Panicum laetum	1	I			
	56	Pennisetum pedicellatum	4	I, II			
	57	Schoenefeldia gracilis	1	I			
	58	Setaria pumila	30	I			
	59	Sporobolus festivus	15	I			
	60	Sporobolus microprotus	2	I			
	61	Sporobolus pyramidalis	2	I			
	62	Thelepogon elegans	2	I			
	63	Urochloa trichopus	4	I			
	PHORBES	64	Achyranthes sicula	0,5		I	Dominante
		65	Aeliotropium cf ovalifolium	r		I	
		66	Aneilema sp	1		I	
		67	Cassia absus	1		I	
		68	Cassia mimosaoides	15		I	
69		Cassia obtusifolia	4	I			
70		Chrysanthemum americana	2	I			
71		Ceratheca sesamoides	r	I			
72		Cerasiferum solanum	r	I			
73		Courbonia virgata	r	I			
74		Crotalaria comosa	r	I			
75		Crotalaria confusa	r	I			
76		Crotalaria retusa	0,5	I			
77		Crotalaria sp	0,5	I			
78		Desmodium tortuosum	r	I			
79		Dimorphia cf barteri	0,5	I			
80		Dolichos sp	r	I			
81		Euphorbia convolvuloides	2	I			
82		Indigofera secundiflora	3	I			
83		Indigofera stenophylla	3	I			
84		Ipomoea hederifolia	0,5	I			
85		Ipomoea heterotricha	0,5	I			
86		Leucas martinicensis	1	I			
87		Sida cordifolia	1	I			
88		Spermacoce ruelliae	10	I			
89		Spermacoce stachydea	2	I			
90		Tragia sp	r	I			
91	Triufetta rhomboidea	r	I				
92	Vigna ambacensis	r	I				
93	Vigna unguiculata	r	I				
94	Zornia glochidiata	8	I				

CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES HORIZONS DU

SOL DE LA STATION N°55 (Ferrugineux) 600 1962

	HORIZON 0	HORIZON 1	HORIZON 2	HORIZON 3	HORIZON 4
Epaisseur en cm (z)	10	30	70	30	30
Pierrosité estimée en % du volume					
Texture appréciée	S A	A S	A s	A s	S a
Texture mesurée par granulométrie					
Porosité appréciée	bonne	faible	moyenne	moyenne	moyenne
Enracinement % relatif					
Teneur en CaCO ₃ (appréciée)%	0	0	0	0	0
Teneur en CaCO ₃ (mesurée) %	0	0	0	0	0
Humidité pondérale équivalente au point flétrissement : ψ 16 bars PF 4,2 (PF %)					
Humidité pondérale équivalente à la capacité au champ : ψ 0,5 bar PF 2,7 (CC %)					
Densité apparente (DA)	1,74	1,74	1,83	1,84	
Réserve utile à la végétation RU (mm)=(CC-PF).DA.z.10 ⁻¹					
Réserve utile à la végétation RU (mm) estimée					

LISTE FLORISTIQUE

Strate I 0 - 50 cm Recouvrement Station : Ripisylve (Mayo Midaoua)
 Mouda A
 II 50cm - 2m Herb. : 100% Date : 29.9.87
 III > 2 m Lign. : 50% Auteur : P. DONFACK

		N°	NOM DE L'ESPECE	REC.(%)	STRATE	OBSERVATIONS	
ARBRES		1	Acacia caffra	2	III		
		2	Anogeissus leiocarpus	15	III		
		3	Boswellia dalzielii	5	III		
		4	Dalbergia melanoxylon	2	III		
		5	Diospyros mespiliformis	5	III		
		6	Entada africana	1	III		
		7	Ficus sp	1	III		
		8	Gardenia ternifolia	1	III		
		9	Sclerocarya birrea	4	III		
		10	Sterculia setigera	8	III		
ARBUSTES ET JEUNES ARBRES		11	Acacia hockii	10	II		
		12	Acacia senegal	5	II		
		13	Combretum aculeatum	4	II		
		14	Combretum glutinosum	8	II		
		15	Combretum cf molle	4	II		
		16	Feretia apodanthera	3	II		
		17	Piliostigma thonningii	0,5	II		
		18	Securinega virosa	0,5	II		
		19	Ximènia americana	1	II		
LIANES		20	Acacia ataxacantha	10	I, II, III	Ligneuse	
		21	Capparis corymbosa	r	II	Ligneuse	
		22	Cissus sp	1	II		
		23	Phyllanthus muellerianus	1	II	Ligneuse	
HERBES	GRAMINOIDES	24	Andropogon gayanus	8	II	Pérenne	
		25	Aristida adscensionis	4	I		
		26	Aristida hordeacea	4	I		
		27	Chloris pilosa	2	I		
		28	Eragrostis turgida	0,5	I		
		29	Heteropogon contortus	1	I		
		30	Hyparrhenia filipendula	1	II		
		31	Hyparrhenia ruffa	1	II		
		32	Loudetia togensis	5	I		
		33	Panicum laetum	1	I		
	34	Pennisetum pedicellatum	60	I			
	35	Thelepogon elegans	10	II			
	36	Setaria pumila	10	I			
		PHORBES	37	Acalypha ciliata	1	I	Pérenne Pérenne
			38	Alysicarpus rugosus	4	I	
			39	Amorphophalus sp	4	I	
			40	Ampelocissus vitreae	1	I	
			41	Cassia mimosoides	2	I	
			42	Cassia obtusifolia	1	I	
			43	cf Chlorophytum sp	r	I	
	44		Chrisanthellum americana	1	I		
	45		Euphorbia convovuloides	0,5	I		
	46		Hygrophila auriculata	1	I		
	47		Sesbania arabica	0,5	I		
	48		Sesbania pachcarpa	1	I		
	49		Spermacoce ruelliae	2	I		
	50		Stylochyton hypogaeus	1	I		

LISTE FLORISTIQUE

Strate I 0 - 50 cm

Recouvrement

Station : Bas de versant
Colline (fersiallitique)
Mouda FS3 / FS2

II 50 cm - 2m

Herb. : 100%

Date : 29.9.87

III > 2 m

Lign. : 40%

Auteur : P. DONFACK

		N°	NOM DE L'ESPECE	REC.(%)	STRATE	OBSERVATIONS
ARBRES		1	Acacia albida	4	III	
		2	Anogeissus leiocarpus	10	III	
		3	Balanites aegyptiaca	2	III	
		4	Boswellia dalzielii	15	III	
		5	Sterculia setigera	12	III	
ARBUSTES ET JEUNES ARBRES		6	Bauhinia rufescens	1	II	
		7	Combretum collinum	2	II	
		8	Combretum glutinosum	3	II	
		9	Combretum sp	1	II	
LIANES		10	Cissus sp	r	II	Ligneuses
		11	Grewia sp	r	I	
HERBES	GRAMINOIDES	12	Andropogon gayanus	15	I, II	Pérenne Dom. à l'aval Point d'eau
		13	Chloris pilosa	5	I	
		14	Cyperus sp	1	I	
		15	Digitaria lecardii	r	I	
		16	Digitaria nuda	1	I	
		17	Dinebra retroflexa	1	I	
		18	Echinochloa colona	2	I	
		19	Eragrostis aspera	1	I	
		20	Hachelochloa granularis	8	I	
		21	Heteropogon contortus	2	I	
		22	Loudetia togoensis	10	I	
		23	Oryza barthii	1	I	
		24	Pennisetum pedicellatum	5	I	
		25	Schoenefeldia gracilis	r	I	
		26	Setaria barbata	r	I	
		27	Setaria pumila	1	I	
		28	Sporobolus festivus	1	I	
		29	Sporobolus pyramidalis	1	I	
		30	Thelepogon elegans	15	I II	
		31	Urochloa trichopus	4	I	
		HERBES	PHORBES	32	Acanthospermum hispidum	
33	Aspilia africana			1	I	
34	Alysicarpus rugosus			1	I	
35	Cassia absus			r	I	
36	Cassia mimosoides			5	I	
37	Cleome viscosa			3	I	
38	Chrisanthellum americana			2	I	
39	Crotalaria retusa			r	I	
40	Crotalaria sp			r	I	
41	Daleschampia sp			r	I	
42	Dioscorea sp			r	I	
43	Dolichos sp			r	I	
44	Hygrophila auriculata			1	I	
45	Indigofera secundiflora			1	I	
46	Ipomoea coscinosperma			r	I	
47	Jasminum dichotomum			r	I	
48	Leucas martinicensis			1	I	
49	Nymphaea sp			r	I	
50	Spermacoe ruelliae			10	I	
51	Striga hermonthea			1	I	
52	Stylochyton hypogaeus			r	I	
53	Tephrosia pedicelata			r	I	
54	Iragia senegalensis			r	I	
55	Vignia sp			r	I	
56	Zornia glochidiata			1	I	

LISTE FLORISTIQUE

Strate I 0 - 50 cm Recouvrement Station NODULES CALCAIRES
 II 50cm - 2m Herb. : 75 % MOUDA HN1
 III 2 m Lign. : 15 % Date : 19.9.87
 Auteur : P.DONFACK

	N°	NOM DE L'ESPECE	REC.(%)	STRATE	OBSERVATIONS	
ARBRES	1	Acacia seyal	0,5	III		
	2	Anogeissus leiocarpus	2	III		
	3	Balanites aegyptiaca	1	III		
	4	Boswellia dalzielii	r	III		
	5	Dalbergia melanoxylon	0,5	III		
	6	Diospyros mespiliformis	r	III		
	7	Entada africana	r	III		
	8	Lonchocarpus laxiflorus	0,5	III		
	9	Sterculia setigera	r	III		
	10	Tamarindus indica	0,5	III		
ARBUSTES ET JEUNES ARBRES	11	Acacia gerrardii	0,5	II		
	12	Acacia hockii	4	II		
	13	Acacia senegal	1	II		
	14	Combretum aculeatum	r	II		
	15	Combretum fragrans	1	II		
	16	Combretum glutinosum	2	II		
	17	Combretum cf molle	0,5	II		
	18	Dichrostachys glomerata	2	II		
	19	Feretia apodanthera	r	II		
	20	Lanea humilis	r	II		
	21	Piliostigma reticulata	r	II		
	22	Ziziphus mauritiana	r	II		
LIANES	23	Capparis corymbosa	r	II	Ligneuse	
HERBES	GRAMINOIDES	24	Andropogon gayanus	5	I	
		25	Aristida adscensionis	8	I	Dominante
		26	Aristida hordeacea	8	I	Dominante
		27	Chloris lamproparia	15	I	Dominante
		28	Heteropogon contortus	2	I	Pérenne
		29	Loudetia togoensis	5	I	
		30	Panicum laetum	2	I	
		31	Schizachyrium exile	20	I	Dominante
		32	Schoenefeldia gracilis	7	I	
	PHORBES	33	Dimiopsis cf barteri	8	I	Pérenne

LISTE FLORISTIQUE

Strate I 0 - 50 cm

Recouvrement

Station VERTISOL dégradé

II 50cm - 2m

Herb.: 90 %

Mouda VD1
Date : 29.9.87

III > 2 m

Lign.: 15 %

Auteur : P. DONFACK

	N°	NOM DE L'ESPECE	FR.	STRATE	REMARQUES		
ARBRES	1	Acacia seyal	1	III			
	2	Anogeissus leiocarpus	0,5	III			
	3	Balanites aegyptiaca	0,5	III			
	4	Boswellia dalzielii	r	III			
	5	Diospyros mespiliformis	r	III			
	6	Entada africana	1	III			
	7	Maytenus senegalensis	r	III			
	8	Sclerocarya birrea	r	III			
	9	Sterculia setigera	r	III			
	10	Stereospermum kunthianum	r	III			
	11	Tamarindus indica	1	III			
	12	Terminalia avicennioides	0,5	III			
ARBUSTES ET JEUNES ARBRES	13	Acacia gerrardii	1,5	II, III			
	14	Acacia hockii	3	II			
	15	Acacia sieberana	0,5	II			
	16	Annona senegalensis	r	II			
	17	Bridelia ferruginea	r	II			
	18	Cassia singueana	r	ii			
	19	Combretum aculeatum	1	II			
	20	Combretum collinum	0,5	II			
	21	Combretum fragrans	1,5	II			
	22	Combretum glutinosum	1,5	II			
	23	Commiphora pedunculata	r	II			
	24	Dichrostachys glomerata	1,5	II			
	25	Feretia apodanthera	2	II			
	26	Lannea humilis	0,5	II			
	27	Piliostigma reticulata	r	II			
	28	Piliostigma thonningii	r	II			
	29	Ximenia americana	1	II			
LIANES	30	Acacia ataxacantha	0,5	II, III			
	31	Asparagus flagellariis	0,5	I	Ligneuses		
	32	Capparis corymbosa	1	II			
	33	Phyllanthus muellerianus	r	II			
HERBES	GRAMINOIDES	34	Andropogon pseudapricus	5	I	Frequente	
		35	Aristida adscensionis	8	I		
		36	Aristida hordeacea	5	I		
		37	Chloris lamproparia	20	I		
		38	Heteropogon contortus	5	I, II		
		39	Loudetia togoensis	15	I		
		40	Schizachyrium exile	5	I		
		41	Schoenefeldia gracilis	30	I		Dom. par taches
		42	Setaria pumila	5	I		
		43	Panicum laetum	2	I		
	44	Pennisetum pedicellatum	8	I			
	PHORBES	45	Cassia obtusifolia	1	I		
		46	Hygrophila auriculata	2	i		
		47	Spermacoce ruelliae	2	I		

A N N E X E 5

- A.5.1 Reconstitution des lames ruisselées
Modèle simulateur - modèle pluie naturelle
- A.5.2 Caractéristiques des crues (BV₁, BV₂)
- A.5.3 Listing des données concernant les facteurs conditionnels
de l'érosion sur surface élémentaire (lm²) HV₁, HN₁, VD₁,
VM₂ (sous pluie naturelle)

A 51

Date	Pu (mm)	IK	Lro (mm)	Lrn (mm)	Lrs (mm)	Date	Pu (mm)	IK	Lro (mm)	Lrn (mm)	Lrs (mm)
31.5	17.0	0.2	12.5	11.9	11.3		16.0	4.3	15.8	11.1	10.4
	17.0	0.2	8.5	11.9	11.3	31.7	108.0	3.9	>45.0	88.4	94.1
13.6	7.5	0.1	4.6	3.95	2.62		108.0	3.9	>45.0	88.4	94.1
	7.5	0.1	3.7	3.95	2.62	02.8	7.2	44.4	2.9	3.7	2.35
14.6	17.0	5.6	12.0	11.9	11.3		7.2	44.4	2.5	3.7	2.35
	17.0	5.6	11.0	11.9	11.3	03.8	8.0	31.9	2.3	4.37	3.07
18.6	33.0	2.8	27.5	25.3	25.8		8.0	31.9	3.0	4.37	3.07
	33.0	2.8	23.4	25.3	25.8	05.8	25.0	20.3	18.4	18.6	18.5
22.6	30.5	4.6	24.0	23.6	23.2		25.0	20.3	15.6	18.6	18.5
	30.5	4.6	24.5	23.6	23.2	12.8	26.0	1.4	21.6	19.5	19.5
24.6	3.7	12.3	1.9	0.76	0.0		26.0	1.4	18.5	19.5	19.5
	3.7	12.3	1.6	0.76	0.0	12.8	4.6	23.9	1.6	1.50	0.0
26:27.6	57.5	35.5	45.0	45.9	48.1		4.6	23.9	1.5	1.50	0.0
	57.5	35.5	40.0	45.9	48.1	14.8	22.0	11.8	19.0	16.1	15.8
02.7	7.5	3.8	4.0	3.95	2.62		22.0	11.8	18.4	16.1	15.8
	7.5	3.8	2.5	3.95	2.62	16.8	64.0	11.3	>45.0	51.4	54.0
03.7	24.5	7.1	19.2	18.2	18.1		64.0	11.3	>45.0	51.4	54.0
	24.5	7.1	20.0	18.2	18.1	17.8	6.5	24.4	4.0	3.11	1.71
7.8.7	52.0	4.6	42.2	41.2	43.1		6.5	24.4	3.8	3.11	1.71
	52.0	4.6	43.3	41.2	43.1	19.8	31.0	21.0	24.5	23.6	24.0
10.7	26.0	23.3	17.0	19.5	19.5		31.0	21.0	22.0	23.6	24.0
	26.0	23.3	17.3	19.5	19.5	22.8	2.7	22.0	0.2	0.0	0.0
13:14.7	34.0	15.0	25.3	26.2	26.7		2.7	22.0	0.2	0.0	0.0
	34.0	15.0	22.0	26.2	26.7	23.6	6.5	11.3	2.1	3.11	1.71
15.7	33.0	25.0	23.0	25.3	25.8		6.5	11.3	1.8	3.11	1.71
	33.0	25.0	21.0	25.3	25.8	28.8	12.0	2.1	6.0	7.72	6.72
17.7	25.0	29.0	16.2	18.6	18.6		12.0	2.1	4.0	7.72	6.72
	25.0	29.0	19.0	18.6	18.6	29.8	42.0	10.3	39.0	32.9	34.0
20.7	7.5	12.0	4.1	3.95	2.62		42.0	10.3	39.5	32.9	34.0
	7.5	12.0	3.7	3.95	2.62	01.9	52.0	20.0	>45.0	41.3	43.1
21.7	20.0	11.8	15.3	14.4	14.0		52.0	20.0	>45.0	41.3	43.1
	20.0	11.8	15.0	14.4	14.0	02.9	15.0	41.0	14.0	10.2	9.44
25.7	16.0	4.3	14.5	11.1	10.4		15.0	41.0	12.5	10.2	9.44

Lro = lame ruisselée observée ; Lrn = lame ruisselée modèle pluie naturelle
 Lrs = lame ruisselée modèle simulateur

RECONSTITUTION LAMES RUISSÉES SITE I
 MODÈLE SIMULATEUR - MODÈLE PLUIE NATURELLE

A 51 (suite)

Date	Pu mm	IK	CV %	Lro mm	Lrn mm	Lrs mm	Date	Pu mm	IK	CV %	Lro mm	Lrn mm	Lrs mm
31.5	17.0	2.0	45	4.5	4.59	0.0	02.8	7.2	44.4	40	0.2	0.48	0.0
	17.0	2.0	30	3.0	6.28	2.41		7.2	44.4	10	0.5	3.83	5.31
	17.0	2.0	0	8.0	9.63	8.60		8.0	31.9	65	0.1	0.0	0.0
13.6	7.5	1.0	45	0.2	0.68	0.0	03.8	8.0	31.9	40	1.0	0.86	0.0
	7.5	1.0	30	0.1	1.74	0.0		8.0	31.9	10	2.0	4.21	4.09
	7.5	1.0	0	2.1	5.09	1.26		25.0	20.3	65	1.9	6.20	3.91
14.6	17.0	5.6	45	6.5	4.61	0.0	05.8	25.0	20.3	40	3.4	9.00	9.09
	17.0	5.6	30	2.7	6.3	2.93		25.0	20.3	10	5.1	12.3	15.3
	17.0	5.6	0	10.5	9.63	9.13		26.0	1.4	65	5.0	6.68	1.90
18.6	33.0	2.8	30	15.2	13.9	14.6	12.8	25.0	1.4	40	2.1	9.47	7.07
	33.0	2.8	0	12.7	17.2	20.8		25.0	1.4	10	13.8	12.8	13.3
22.6	30.5	4.6	30	19.0	12.7	13.0	12.8	4.60	23.9	65	1.2	0.0	0.0
24.6	3.7	12.3	45	0.0	0.0	0.0	14.8	4.60	23.9	40	1.5	0.0	0.0
	3.7	12.3	30	0.1	0.0	0.0		4.60	23.9	10	1.0	2.68	0.0
	3.7	12.3	0	0.6	3.30	0.31		22.0	11.8	65	3.5	4.77	0.40
26/27.6	57.5	35.5	30	34.3	25.6	39.0	16.8	22.0	11.8	40	8.4	7.56	5.56
02.7	7.5	3.8	45	0.0	0.68	0.0		22.0	11.8	10	10.7	10.9	11.6
	7.5	3.8	30	0.1	1.74	0.0		64.0	11.3	45	38.2	27.1	36.3
03.7	7.5	3.8	0	0.5	5.09	1.60	17.8	64.0	11.3	15	35.0	30.4	42.5
	24.5	7.1	45	4.0	8.19	5.73		6.5	24.4	75	0.0	0.0	0.0
	24.5	7.1	30	10.2	9.86	8.83		6.5	24.4	45	0.8	0.0	0.0
7/8.7	24.5	7.1	0	2.8	13.2	15.0	19.8	6.5	24.4	15	0.8	2.94	0.83
	52.0	4.6	45	12.0	21.3	26.2		31.0	21.0	75	4.3	7.96	6.50
	52.0	4.6	30	19.0	23.0	29.3		31.0	21.0	45	5.0	11.3	12.7
10.7	52.0	4.6	0	36.0	26.3	35.5	22.8	2.7	22.0	75	0.0	0.0	0.0
	26.0	23.3	30	14.0	10.6	12.3		2.7	22.0	45	0.0	0.0	0.0
	26.0	23.3	0	16.0	13.9	18.5		2.7	22.0	15	0.0	1.10	0.0
13/14.7	34.0	15.0	30	13.0	14.4	17.2	23.8	6.5	11.3	75	0.0	0.0	0.0
	34.0	15.0	0	18.5	17.8	23.4		6.5	11.3	45	0.2	0.0	0.0
15.7	33.0	25.0	35	17.0	13.4	16.9	28.8	6.5	11.3	20	0.3	2.38	0.0
	33.0	25.0	5	19.0	16.7	23.1		12.0	2.1	75	0.0	0.0	0.0
17.7	25.0	29.0	55	6.5	7.32	7.25	29.8	12.0	2.1	45	0.4	2.22	0.69
	25.0	29.0	35	14.3	9.55	11.4		12.0	2.1	20	0.7	5.00	0.69
	25.0	29.0	5	12.0	12.9	17.6		42.0	10.3	75	12.5	13.2	13.3
20.7	7.5	12.0	55	0.0	0.0	0.0	01.9	42.0	10.3	45	16.5	16.6	19.5
	7.5	12.0	35	0.6	1.18	0.0		42.0	10.3	20	35.6	19.4	24.6
	7.5	12.0	5	2.0	4.53	1.83		52.0	20.0	75	12.9	18.0	22.3
21.7	20.0	11.8	35	11.6	7.16	5.08	02.9	52.0	20.0	45	18.5	21.3	28.6
25.7	16.0	4.3	35	12.0	5.25	0.95		52.0	20.0	20	38.6	24.6	33.6
31.7	108	3.9	65	40.0	45.9	64.4		15.0	41.0	75	0.0	0.30	0.0
	108	3.9	40	39.7	48.7	69.6	15.0	41.0	45	0.8	3.65	3.50	
02.8	7.2	44.4	65	0.0	0.0	0.0	15.0	41.0	20	2.7	6.64	8.66	

Lro = lame ruisselée observée ; Lrn = lame ruisselée modèle pluie naturelle
Lrs = lame ruisselée modèle simulateur

RECONSTITUTION LAMES RUISSELEES SITE F
MODELE SIMULATEUR - MODELE PLUIE NATURELLE

A 51 (suite)

Date	Pu mm	IK	CV %	Lro mm	Lrn mm	Lrs mm	Date	Pu mm	IK	CV %	Lro mm	Lrn mm	Lrs mm
31.5	17.0	2.0	0	5.0	8.87	6.17	25.7	16.0	4.3	20	8.0	7.28	1.23
	17.0	2.0	0	9.0	8.87	6.17	31.7	108.0	3.9	5	43.0	61.4	65.3
	17.0	2.0	0	5.5	8.87	6.17		108.0	3.9	10	(45.0)	61.0	63.8
13.6	7.5	1.0	0	1.2	3.34	0.0		108.0	3.9	20	43.0	60.5	60.9
	7.5	1.0	0	1.9	3.34	0.0	02.8	7.2	44.4	5	1.5	4.6	6.56
	7.5	1.0	0	1.5	3.34	0.0		7.2	44.4	10	1.3	4.33	5.10
14.6	17.0	5.6	0	7.4	9.02	6.87		7.2	44.4	20	1.0	3.78	2.19
	17.0	5.6	0	6.7	9.02	6.87	03.8	8.0	31.9	10	2.5	4.30	3.17
	17.0	5.6	0	2.8	9.02	6.87		8.0	31.9	15	3.2	4.02	1.72
18.6	33.0	2.8	0	18.3	18.2	16.9		8.0	31.9	25	2.8	3.47	0.0
	33.0	2.8	0	19.7	18.2	16.9	05.8	25.0	20.3	10	13.0	13.7	12.1
	33.0	2.8	0	18.3	18.2	16.9		25.0	20.3	15	13.4	13.4	10.7
22.6	30.5	4.6	0	22.3	16.8	15.6		25.0	20.3	25	11.0	12.8	7.76
	30.5	4.6	0	18.0	16.8	15.6	12.8	26.0	1.4	10	15.3	13.5	9.08
	30.5	4.6	0	21.2	16.8	15.6		26.0	1.4	15	12.5	13.2	7.62
24.6	3.7	12.3	0	0.5	1.58	0.0		26.0	1.4	25	13.4	12.7	4.71
	3.7	12.3	0	1.0	1.58	0.0	12.8	4.6	23.9	10	1.2	2.01	0.0
	3.7	12.3	0	0.9	1.58	0.0		4.6	23.9	15	1.5	1.74	0.0
26/27.6	57.5	35.5	0	32.0	33.6	39.5		4.6	23.9	25	0.9	1.18	0.0
	57.5	35.5	5	38.0	33.4	38.0	14.8	22.0	11.8	10	13.2	11.6	8.48
	57.5	35.5	10	34.0	33.1	36.6		22.0	11.8	15	13.0	11.3	7.02
02.7	7.5	3.8	0	0.4	3.45	2.37		22.0	11.8	25	8.0	10.8	4.11
	7.5	3.8	5	0.9	3.17	0.0	16.8	64.0	11.3	10	41.4	35.9	36.2
	7.5	3.8	10	0.9	2.89	0.0		64.0	11.3	15	41.0	35.6	34.7
03.7	24.5	7.1	0	16.2	13.4	12.1		64.0	11.3	25	33.0	35.1	31.8
	24.5	7.1	5	16.0	13.1	10.7	17.8	6.5	24.4	10	1.9	3.13	0.71
	24.5	7.1	10	13.9	12.9	9.20		6.5	24.4	15	2.3	2.85	0.0
7/8.7	52.0	4.6	0	38.3	29.2	29.8		6.5	24.4	25	1.7	2.30	0.0
	52.0	4.6	5	42.0	29.0	28.4	19.8	31.0	21.0	10	13.9	17.2	16.2
	52.0	4.6	10	34.0	28.7	26.9		31.0	21.0	15	18.5	16.9	14.8
10.7	26.0	23.3	0	14.0	14.9	16.3		31.0	21.0	25	14.0	16.4	11.9
	26.0	23.3	5	6.5	14.7	14.8	22.8	2.7	22.0	10	0.0	0.84	0.0
	26.0	23.3	10	7.0	14.4	13.4		2.7	22.0	15	0.3	0.56	0.0
13/14.7	34.0	15.0	5	21.0	18.9	18.5		2.7	22.0	25	0.5	0.08	0.0
	34.0	15.0	10	18.0	18.7	17.0	23.8	6.5	11.3	10	0.0	2.61	0.0
	34.0	15.0	20	18.0	18.1	14.1		6.5	11.3	15	0.4	2.34	0.0
15.7	33.0	25.0	5	17.0	18.8	19.8		6.5	11.3	25	0.6	1.78	0.0
	33.0	25.0	10	18.0	18.5	18.4	28.8	12.0	2.1	10	2.2	5.43	0.0
	33.0	25.0	20	17.9	17.9	15.4		12.0	2.1	15	2.5	5.16	0.0
17.7	25.0	29.0	5	11.0	14.3	15.3		12.0	2.1	25	1.8	4.6	0.0
	25.0	29.0	10	17.0	14.0	13.8	29.8	42.0	10.3	10	25.7	23.1	21.4
	25.0	29.0	20	16.5	13.5	10.9		42.0	10.3	15	34.1	22.8	20.0
20.7	7.5	12.0	5	2.0	3.51	3.93		42.0	10.3	25	25.5	22.3	17.0
	7.5	12.0	10	2.1	3.22	0.0	01.9	52.0	20.0	10	34.0	29.3	30.0
	7.5	12.0	20	2.4	2.71	0.0		52.0	20.0	15	42.3	29.0	28.5
21.7	20.0	11.8	5	14.1	10.7	8.62		52.0	20.0	25	31.7	28.5	25.6
	20.0	11.8	10	10.4	10.4	7.12	02.9	15.0	41.0	10	8.7	8.71	9.61
	20.0	11.8	20	12.0	9.90	4.24		15.0	41.0	15	10.7	8.43	8.13
25.7	16.0	4.3	5	10.4	8.11	4.50		15.0	41.0	25	8.0	7.91	5.22
	16.0	4.3	10	11.2	7.83	3.04							

Lro = lame ruisselée observée ; Lrn = lame ruisselée modèle pluie naturelle

Lrs = lame ruisselée modèle simulateur

N° crue	Date	Pm mm	Lr mm	Kr %	Tm mn	Tb mn	Qmax m³/s	Qb m³/s	α	IK	CV	Er T	Er.sp. T/km²
1	09.05.84	36.5	5.97	16.0	90	270	19.90	0.000	2.98	6.0	2	-	-
2	13.05.84	12.5	2.78	22.0	210	360	6.74	0.000	2.89	4.9	2	-	-
3	15.05.84	4.4	-	-	-	-	-	-	-	6.4	2	-	-
4	17.05.84	6.9	0.14	2.0	60	175	0.60	0.001	2.55	7.0	2	-	-
5	21.05.84	11.5	0.62	5.4	90	500	0.60	0.000	2.14	1.5	2	-	-
6	22.05.84	13.2	1.31	9.9	60	360	3.00	0.015	2.75	9.7	3	-	-
7	26.05.84	14.1	1.28	9.1	120	360	2.78	0.001	2.59	6.3	3	-	-
8	29.05.84	5.3	0.29	5.4	30	390	0.50	0.003	2.16	4.1	3	-	-
9	08.06.84	14.7	0.53	3.6	132	295	1.64	0.000	3.06	0.0	3	-	-
10	10.06.84	1.9	0.03	1.4	23	90	0.17	0.000	2.12	3.7	4	-	-
11	13.06.84	9.8	-	-	-	-	-	-	-	3.4	4	-	-
12	17.06.84	8.5	0.02	0.3	24	90	0.15	0.000	1.91	1.4	4	-	-
13	20.06.84	3.7	0.01	0.3	15	75	0.09	0.000	2.25	2.0	4	-	-
14	30.06.84	6.4	0.02	0.2	17	240	0.04	0.000	1.81	0.0	7	-	-
15	04.07.84	13.1	1.31	10.0	25	98	7.61	0.000	1.88	1.0	8	-	-
16	06.07.84	12.7	1.08	8.5	35	160	4.64	0.000	2.27	5.1	8	-	-
17	08.07.84	18.0	1.40	7.8	370	670	2.42	0.000	3.83	6.5	9	-	-
18	10.07.84	11.9	0.42	3.5	50	405	0.97	0.000	3.08	7.7	10	-	-
19	11.07.84	8.0	0.61	7.6	17	290	2.21	0.000	3.49	12.0	10	-	-
20	12.07.84	8.7	1.14	12.0	77	213	3.74	0.000	2.31	12.0	11	-	-
21	13.07.84	28.8	8.29	30.0	135	260	20.10	0.003	2.09	13.0	12	-	-
22	15.07.84	13.0	2.36	17.0	108	250	6.19	0.000	2.17	13.0	12	-	-
23	16.07.84	10.1	1.57	14.0	50	158	6.74	0.003	2.25	17.0	13	-	-
24	18.07.84	51.5	20.6	-	-	-	27.20	0.000	-	12.0	14	-	-
25	20.07.84	7.4	0.44	5.9	67	410	0.97	0.000	3.00	23.0	16	-	-
26	22.07.84	18.4	2.22	11.0	110	256	6.66	0.000	2.54	10.0	18	-	-
27	25.07.84	37.4	5.14	13.0	135	270	20.60	0.000	3.59	7.4	19	-	-
28	29.07.84	7.3	0.19	2.6	102	340	0.65	0.000	3.86	6.9	20	-	-
29	30.07.84	17.0	3.37	18.0	87	203	10.30	0.000	-	8.1	22	-	-
30	31.07.84	24.8	7.13	27.0	95	240	17.20	0.003	1.92	16.0	23	-	-
31	06.08.84	7.1	0.02	0.3	20	245	0.06	0.000	2.63	2.1	25	-	-
32	08.08.84	40.7	13.5	31.0	140	290	23.10	0.000	1.64	3.4	26	-	-
33	10.08.84	8.5	0.87	10.0	90	255	2.42	0.000	2.34	16.0	27	-	-
34	17.08.84	11.8	0.11	0.95	15	230	0.60	0.000	4.12	3.3	28	-	-
35	21.08.84	10.4	0.43	4.20	30	250	1.92	0.000	3.67	2.0	28	-	-
36	24.08.84	10.4	0.02	0.18	32	100	0.15	0.000	2.65	2.8	29	-	-
37	26.08.84	4.6	0.06	1.30	18	90	0.52	0.000	2.59	4.8	30	-	-
38	28.08.84	6.1	0.02	0.39	13	76	0.29	0.000	3.00	3.5	30	-	-
39	31.08.84	22.3	0.79	3.50	30	195	2.71	0.000	2.23	2.1	30	-	-
40	03.09.84	15.0	0.29	1.90	85	250	0.91	0.000	2.63	5.5	30	-	-
41	04.09.84	26.7	5.64	21.0	90	206	15.80	0.000	1.91	12.0	30	-	-

Caractéristiques des crues B V 1

A 52 (suite)

N° crue	Date	Pm mm	Lr mm	Kr %	Tm mn	Tb mn	Qmax m³/s	Qb m³/s	α	IK	CV	Er T	Er T/km²
42	04.05.85	25.7	0.87	3.4	18	440	2.32	0.000	3.90	0.0	2	(70.0)	(3.87)
43	13.05.85	5.7	0.04	0.7	20	96	0.31	0.000	2.45	0.5	2	(1.0)	(0.06)
44	16.05.85	15.0	1.28	8.5	39	210	5.70	0.000	3.10	2.0	2	(90.0)	(4.97)
45	18.05.85	10.6	0.67	6.4	20	250	2.83	0.000	3.48	3.0	2	(50.0)	(2.76)
46	19.05.85	12.3	1.36	11.1	121	290	4.20	0.001	2.98	7.0	2	(100)	(5.52)
47	01.06.85	18.4	0.12	0.6	24	290	0.29	0.000	2.38	2.0	3	3.8	0.21
48	13.06.85	13.8	0.16	3.1	10	190	0.75	0.000	3.00	1.0	3	8.6	0.48
49	14.06.85		0.27		10	315	0.80	0.002	3.08	5.0	3	18.9	1.04
50	18.06.85	22.6	1.67	7.4	140	385	4.50	0.000	3.44	1.0	3	203	11.2
51	22.06.85	16.7	2.83	16.9	31	275	7.15	0.000	2.31	4.6	3	396	21.9
52	25.06.85	4.94	0.09	1.7	20	360	0.17	0.000	2.42	7.5	4	9.70	0.54
53	26.06.85	42.5	3.05	24.2	65	275	8.35	0.000	2.49	6.0	4	416	23.0
54	27.06.85		7.24		130	320	15.60	0.120	2.29	35.0	4	734	40.6
55	03.07.85	13.7	0.77	5.6	146	376	1.50	0.000	2.44	7.1	7	73.0	4.03
56	07.07.85	44.9	1.37	33.1	47	300	4.86	0.000	3.52	2.3	8	122	6.74
57	08.07.85		13.5		145	310	27.00	0.002	2.05	2.5	9	794	43.9
58	10.07.85	34.8	11.9	34.2	250	440	24.30	0.000	2.99	20.0	10	841	46.5
59	13.07.85	21.6	0.15	10.8	115	345	0.37	0.000	2.80	10.0	13	9.80	0.54
60	14.07.85		2.18		34	435	3.66	0.001	2.42	17.0	13	96.0	5.30
61	15.07.85	26.3	3.85	14.6	95	310	10.00	0.001	2.67	13.0	15	383	21.2
62	16.07.85	16.8	0.66	26.6	145	500	2.06	0.050	5.15	30.0	15	27.0	1.49
63	17.07.85		3.81		130	330	7.92	0.002	2.28	29.0	15	270	14.9
64	20.07.85	12.5	0.70	5.6	140	440	1.54	0.000	3.23	12.0	18	31.0	1.71
65	21.07.85	20.3	5.71	28.1	116	385	12.60	0.001	2.83	12.8	18	334	18.5
66	25.07.85	12.7	1.33	10.5	92	365	3.24	0.000	2.95	4.3	22	71.5	3.95
67	31.07.85	92.8	51.2	55.2	95	350	125.0	0.000	2.83	3.9	26	1560	86.2
68	03.08.85	24.5	7.90	32.2	80	280	22.70	0.001	2.67	32.0	28	383	21.2
69	05.08.85	22.0	5.03	22.9	110	380	9.39	0.001	2.35	20.0	29	265	14.6
70	09.08.85	6.7	0.53	7.9	50	560	0.80	0.000	2.79	8.0	31	3.20	0.18
71	12.08.85	25.6	5.34	20.9	110	300	12.40	0.000	2.31	1.5	32	251	13.9
72	14.08.85	20.3	4.46	22.0	85	275	12.50	0.000	2.55	14.0	34	211	11.7
73	16.08.85	75.2	39.9	53.1	127	560	54.00	0.000	2.51	11.0	34	858	47.4
74	18.08.85	8.2	0.91	11.1	120	360	2.83	0.009	3.73	24.0	35	30.8	1.70
75	19.08.85	26.6	5.30	19.9	550	880	4.80	0.001	2.64	13.0	36	174	9.61
76	23.08.85	9.2	0.34	3.66	12	410	1.10	0.000	4.42	11.0	37	2.50	0.14
77	29.08.85	12.1	1.66	13.7	45	240	6.40	0.000	3.06	10.0	38	45.8	2.53
78	01.09.85	38.4	13.80	35.9	105	340	26.20	0.000	2.15	21.0	39	430	23.8
79	02.09.85	17.6	2.49	14.1	160	370	5.34	0.000	2.63	32.0	39	51.6	2.85
80	11.09.85	14.1	0.27	1.9	13	320	0.85	0.000	3.40	6.0	41	4.00	0.22
81	13.09.85	22.0	1.00	4.6	120	335	3.60	0.000	3.38	1.8	41	15.0	0.83
82	16.09.85	14.4	1.43	9.9	90	260	4.38	0.000	2.65	1.0	42	20.0	1.10
83	17.09.85	11.6	0.22	1.9	40	460	0.44	0.000	3.03	6.0	42	3.00	0.17
84	23.09.85	10.2	0.22	2.1	10	310	0.80	0.000	3.80	1.0	42	3.00	0.17

Caractéristiques des crues B.V.1

N° crue	Date	Pm mm	Vr m ³	Lr mm	Kr %	Tm mn	Tb mn	Qmax l/s	α	IK	CV	Er Kg	Er.sp T/ha
1	13.05.84	9.0	12.2	4.06	45.0	5	19	19.6	1.83	0.0	2		
2	17.05.84	9.0	12.2	4.00	44.4	8	25	19.8	2.47	3.4	2		
3	21.05.84	14.5	24.0	8.00	52.9	8	250	7.1	4.63	1.5	3		
4	22.05.84	18.6	40.5	13.5	62.4	8	55	47.4	4.49	9.7	3		
5	26.05.84	12.0	8.7	2.90	18.8	10	22	11.2	2.18	6.3	3		
6	08.06.84	11.1	11.1	3.70	49.5	3	20	69.7	5.07	0.0	3	1325	4.42
7	10.06.84	7.3	9.5	3.15	43.1	-	-	-	-	3.7	3		
8	13.06.84	8.7	2.5	0.85	9.7	(24)	210	0.8	3.97	3.4	4		
9	17.06.84	6.7	9.1	3.02	45.5	-	-	-	-	1.4	4		
10	20.06.84	7.9	9.9	3.31	42.1	17	34	12.7	2.61	2.0	4	57.1	0.190
11	30.06.84	6.6	4.9	1.63	24.7	-	-	-	-	0.0	7	20.8	0.069
12	07.07.84	4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13	08.07.84	3.5	2.8	0.93	26.5	5	33	4.0	2.85	3.7	9		
14	08.07.84	10.0	18.1	6.03	66.3	6	49	27.0	3.99	6.7	10		
15	10.07.84	7.0	4.9	1.63	23.3	-	-	-	-	5.0	10		
16	13.07.84	11.1	16.4	5.47	49.2	-	-	-	-	5.2	10		
17	15.07.84	12.8	32.0	10.7	58.6	12	29	33.0	2.50	5.2	11	1326	4.42
18	16.07.84	32.0	78.6	26.2	68.7	11	77	72.0	5.04	12.0	11		
19	18.07.84	30.0	77.1	25.7	73.7	8	190	39.0	6.70	18.8	11		
20	20.07.84	5.5	4.9	1.63	29.7	10	38	6.8	3.17	18.0	12		
21	22.07.84	17.7	29.3	9.77	54.2	10	55	26.4	3.02	8.0	13		
22	25.07.84	11.0	12.0	4.00	36.4	45	180	8.4	7.56	16.2	14	142	0.473
23	25.07.84	32.0	75.9	25.3	69.0	5	79	79.0	5.65		14		
24	29.07.84	3.8	1.6	0.53	14.0	3	14	5.0	2.62	12.8	15		
25	30.07.84	8.8	13.0	4.33	49.5	4	24	38.0	4.21	9.6	15	833	2.78
26	31.07.84	35.9	74.3	24.8	66.3	28	212	39.5	7.04	11.7	15		
27	08.08.84	44.5	104.0	34.7	73.4	5	68	80.2	3.34	2.8	16	590	1.97
28	10.08.84	15.0	21.9	7.30	49.0	17	46	29.6	3.71	18.3	16		
29	15.08.84	6.9	0.7	0.22	3.2	2	31	20.2	5.62	2.7	17	77.8	0.26
30	17.08.84	15.9	17.3	5.77	36.3	6	117	23.2	9.41	3.8	17		
31	21.08.84	16.0	24.9	8.30	51.2	8	22	45.4	2.44	2.7	18	168	0.56
32	24.08.84	9.8	9.71	3.24	33.0	11	27	17.9	2.96	4.2	18		
33	26.08.84	11.0	13.9	4.63	42.1	20	43	19.0	3.53	5.1	18	39.7	0.13
34	28.08.84	7.6	8.7	2.92	31.3	3	29	14.8	3.61	5.9	19	92.7	0.31
35	31.08.84	17.3	19.2	6.40	37.0	50	160	19.0	9.50	3.0	19		
36	03.09.84	12.0	6.7	2.22	18.5	95	144	42.2	5.47	4.5	19	74.9	0.25
37	04.09.84	30.3	66.0	22.0	72.0	8	56	70.0	3.60	10.0	19		
38	27.09.84	13.1	1.2	0.38	0.1	4	21	0.4	4.25	0.0	20	215	0.72
39	04.05.85	27.4	47.7	15.9	60.2	10	45	102.0	5.56	0.0	20	173	0.58
40	12.05.85	13.8	17.3	5.13	41.7	11	21	27.5	2.00	0.5	20		
41	19.05.85	9.0	12.3	4.07	45.4	7	32	21.0	3.28	7.0	20	30.7	0.10
42	31.05.85	3.1	0.4	0.12	3.9	1	14	3.0	6.93	0.0	20	196	0.07

Caractéristiques des crues B.V.2

N° crue	Date	Pm mm	Vr m	Lr mm	Kr %	Tm mn	Tb mn	Qmax l/s	α	IK	CV	Er Kg	Er.sp. T/ha
43	01.06.85	14.0	12.6	4.27	30.1	14	206	12.7	12.50	2.0	2		
44	13.06.85	6.5	2.4	0.79	12.1	9	38	3.0	2.90	1.0	3	58.3	0.19
45	14.06.85	12.4	19.2	6.57	51.6	12	55	23.3	4.00	5.6	3		
46	18.06.85	28.0	42.6	14.2	50.7	18	168	72.0	17.00	2.8	3	130	0.43
47	22.06.85	25.0	53.1	17.7	75.1	9	45	67.7	3.25	4.6	3	197	0.66
48	24.06.85	3.50	0.9	0.32	9.3	1	19	3.0	3.52	12.3	3	2.34	0.01
49	26.06.85	31.5	56.9	19.0	63.5	19	60	57.4	3.45	6.1	4	236	0.79
50	27.06.85	15.5	34.9	11.6	75.1	15	132	24.2	5.49	35.5	4		
51	02.07.85	7.37	0.9	0.28	3.8	19	30	1.0	2.12	3.8	5	107	0.36
52	03.07.85	21.1	41.5	13.8	73.9	26	120	33.7	5.25	7.1	5		
53	07.07.85	4.5	2.6	0.87	19.4	7	21	6.4	3.06	2.2	6	171	0.57
54	08.07.85	48.0	91.2	30.4	63.3	54	170	44.0	4.92	4.6	7		
55	10.07.85	6.0	6.3	2.10	35.0	11	32	14.8	4.51	17.8	10	109	0.36
56	10.07.85	16.0	29.0	9.67	60.4	12	45	42.3	3.94	23.3	10		
57	13.07.85	10.5	6.9	2.80	22.0	9	200	6.4	11.00	10.2	12	74.7	0.25
58	14.07.85	21.5	38.1	12.7	61.7	9	153	30.0	6.92	18.7	13		
59	15.07.85	19.5	42.9	14.3	73.3	11	65	67.7	6.15	20.0	13		
60	16.07.85	9.5	11.8	3.93	41.4	4	25	10.1	1.28	34.4	14	227	0.76
61	17.07.85	23.0	49.4	16.5	80.6	7	60	74.1	4.81	29.0	14		
62	20.07.85	7.5	54.9	1.83	20.9	14	41	10.6	5.55	12.0	17	6.43	0.02
63	21.07.85	19.0	41.6	13.5	74.9	12	85	42.3	5.05	11.8	17	69.8	0.23
64	25.07.85	16.0	30.6	10.2	63.8	10	32	52.9	3.33	4.3	21	79.2	0.26
65	31.07.85	105.0	234.0	78.0	74.3	65	120	119.0	3.66	3.9	26	736	2.45
66	02.08.85	7.0	1.6	0.53	7.6	54	77	1.3	3.64	44.4	27	5.54	0.02
67	03.08.85	7.78	7.3	2.43	27.5	26	85	10.6	8.41	31.9	28	10.2	0.03
68	05.08.85	20.7	24.6	8.20	39.6	50	231	40.2	22.6	20.3	29	37.5	0.13
69	12.08.85	24.2	34.8	11.6	48.0	22	103	17.6	3.13	1.4	32	55.3	0.18
70	12.08.85	4.0	2.6	0.87	21.8	14	38	12.7	11.00	23.9	32	2.36	0.01
71	14.08.85	19.8	46.7	15.6	78.0	15	88	59.3	0	14.0	33	131	0.44
72	16.08.85	56.8	132.0	44.0	77.5	5	390	61.4	6.76	11.3	34	211	0.70
73	17.08.85	4.5	4.11	1.37	26.9	6	40	8.2	10.90	24.4	35	7.49	0.03
74	19.08.85	16.0	23.7	7.90	49.4	4	48	34.9	5.42	12.9	36	61.1	0.20
75	20.08.85	12.5	16.9	5.63	45.1	42	195	6.4	4.24	28.5	36		
76	24.08.85	6.5	0.7	0.24	3.7	3	23	1.4	4.44	11.3	37	1.15	0.004
77	28.08.85	10.0	1.3	0.45	4.5	9	92	1.5	2.56	2.1	38	1.81	0.006
78	29.08.85	41.0	98.7	32.9	80.2	23	130	93.4	6.26	10.3	38	132	0.44
79	01.09.85	52.0	85.2	28.4	54.6	16	62	67.5	7.38	21.0	39	161	0.54
80	02.09.85	16.4	20.3	6.77	41.3	26	98	6.1	2.95	41.0	39	11.1	0.04
81	13.09.85	21.0	18.8	6.27	29.9	15	43	15.2	1.78	1.8	39	63.0	0.21
82	16.09.85	12.1	10.7	3.57	29.5	7	25	21.2	2.09	1.0	40		
83	17.09.85	13.0	8.4	2.80	21.5	3	25	19.1	2.97	6.0	40	-	-
84	28.09.85	8.0	1.5	0.49	6.1	13	19	2.7	3.41	0.0	42	-	-
85	30.09.85	16.0	2.5	0.85	5.3	7	-	7.9	2.05	0.0	42	-	-

Caractéristiques des crues B.V.2

CARACTERISTIQUES DES CRUES MOUDA 1 - 1986

N°	Date	Pm mm	Vr m3	Hr mn	Kr %	Tm mn	Tb mn	pb m3/s	Qt m3/s	r<
1	10 VI	16.3	5280	0.282	1.79	24	94	0.00	2.60	2.78
2	04 VII	27.9	20520	1.134	4.06	105	279	0.00	4.10	3.35
3	07 VII	13.6	3552	0.196	1.44	44	159	0.00	0.99	2.66
4	15 VII	37.4	90000	4.97	13.3	116	390	0.05	9.15	2.32
5	23 VII	45.4	147600	8.15	0.18	116	216	0.00	19.5	1.71
6	25 VII	32.9	202500	11.2	34.0	138	285	0.25	23.3	1.97
7	26 VII	36.8	226200	12.5	34.0	178	324	0.00	25.5	2.19
8	28 VII	48.6	357000	19.7	40.5	140	360	0.25	45.5	2.75
9	02 VIII	8.0	24360	1.35	16.9	104	334	0.00	3.85	3.17
10	04 VIII	17.3	52440	2.90	16.8	131	350	0.00	7.40	2.96
11	06 VIII	19.5	49680	2.75	14.1	109	331	0.25	7.65	3.06
12	08 VIII	12.1	61800	3.41	28.2	104	286	0.00	10.7	2.97
13	09 VIII	30.4	141600	7.82	25.7	132	296	0.00	15.0	1.88
14	11 VIII	5.8	23760	1.31	22.6	40	170	0.00	6.60	2.83
15	12 VIII	10.1	23160	1.28	12.7	26	207	0.00	5.70	3.06
16	13 VIII	24.7	43800	2.42	9.80	102	303	0.00	6.70	2.78
17	15-16 VIII	38.6	179100	9.90	25.6	120	339	0.00	17.0	1.93
18	18 VIII	7.8	8460	0.467	5.99	19	179	0.00	2.15	2.73
19	25 VIII	9.3	1109	0.061	0.66	24	300	0.00	0.180	2.92
20	29 VIII	3.4	202	0.011	0.32	27	70	0.00	0.127	2.61
21	31 VIII	24.7	15840	0.875	3.54	44	272	0.10	2.90	2.99
22	02-03 IX	51.6	211800	11.7	22.7	142	336	0.00	24.0	2.20
23	07 IX	9.9	11184	0.618	6.24	110	350	0.00	1.76	3.30
24	09 IX	48.5	392400	21.7	44.7	128	320	0.00	41.3	2.02
25	30 IX 01 X	16.2	7200	0.398	2.46	14	292	0.00	1.58	3.85

A.5.2 (suite)

CARACTERISTIQUES DES CRUES MOUDA BV2 - 1986

N° crue	Date	Pm mm	Vr m3	Hc mm	Kr %	Im mn	Ib mn	Q max m3/s	α
1	10 VI	29.8	53.1	17.8	59.7	6	40	0.049	2.21
2	12 VI	11.2	3.36	1.12	10	30	53	0.010	9.46
3	04 VII	25.5	49.8	16.7	65.4	44	80	0.028	2.70
4	15 VII	37.4	73.2	24.5	70.0	9	46	0.068	2.56
5	21 VII	13.5	3.36	1.12	8.30	42	107	0.002	3.82
6	23 VII	42.3	67.2	22.5	53.9	16	53	0.057	2.70
7	25 VII	12.6	9.0	3.01	23.9	37	82	0.005	2.73
8	26 VII	22.3	39.4	13.2	59.2	36	70	0.022	2.35
9	29 VII	13.0	7.32	2.45	19.0	6	20	0.005	0.82
10	31 VII	10.9	3.38	1.13	10.4	112	190	0.002	6.75
11	03 VIII	15.0	24.0	8.03	53.5	17	64	0.028	4.48
12	05 VIII	15.0	21.6	7.22	48.1	13	52	0.025	3.61
13	08 VIII	36.2	24.0	8.03	22.2	18	44	0.033	3.63
14	11 VIII	27.5	61.2	20.5	74.6	10	42	0.089	3.66
15	13 14 VIII	26.5	33.6	11.2	42.3	22	71	0.027	3.42
16	15 16 VIII	35.0	53.1	17.8	50.9	6	45	0.042	2.14
17	22 VIII	9.5	1.35	0.451	4.75	4	19	0.004	3.38
18	29 VIII	15.2	13.8	4.62	30.4	9	27	0.021	2.47
19	31 VIII	24.6	28.1	9.40	38.2	13	56	0.014	1.67
20	02 IX	40.9	44.4	14.8	36.2	11	46	0.063	3.92
21	04 IX	10.4	12.4	4.15	39.9	21	83	0.013	5.22
22	09 IX	74.8	178	59.5	79.5	22	94	0.090	2.85
23	21 IX	18.8	5.82	1.95	11	19	35	0.011	3.97
24	30 IX	18.8	24.6	8.23	43.8	5	27	0.050	3.29

A 53 RAW DATA TO CHECK PERIODE

Obs	annee	sol	site	date	Kl	Lr	erosion	Hp	Imax	Rg	periode
1	1	1	1	1	62.6	15.9	94.4	25.4	29.4	0	1
2	1	1	1	2	20	1.2	14.2	6	24	0	1
3	1	1	1	3	88.2	33.1	84.5	37.5	69.6	0	1
4	1	1	1	4	21.7	1	2.2	4.6	11.2	0	1
5	1	1	1	5	39.5	5.3	16.9	13.4	9.5	1	1
6	1	1	1	6	11.9	5.1	32.6	42.9	70	2	1
7	1	1	1	7	21	7	27.9	33.3	28.6	3	1
8	1	1	1	8	64.2	26	112.6	40.5	17	4	1
9	1	1	1	9	1	0.1	2.6	10.6	3.2	4	1
10	1	1	1	10	35.1	5.2	20.6	14.8	34.9	5	2
11	1	1	1	11	36.7	5.8	56.7	15.8	25	6	2
12	1	1	1	12	13.8	5	70.4	36.2	53.7	8	2
13	1	1	1	13	8.9	2.4	140.5	26.8	37.3	9	2
14	1	1	1	14	6.3	1.7	127.9	26.7	32	9	2
15	1	1	1	15	.	.	.	26.2	30	9	2
16	1	1	1	16	.	.	.	35.6	47	11	2
17	1	1	1	17	0	0	0	9.5	24.1	18	2
18	1	1	1	18	3.8	0.1	0	2.6	0.9	19	2
19	1	1	1	19	70	10.5	45.9	15	30	23	2
20	1	1	1	20	51.2	12.5	21	24.4	16.7	24	2
21	1	1	1	21	85.1	35.6	107.2	41.8	72.2	29	3
22	1	1	1	22	52.9	5.4	164.7	10.2	7.7	31	3
23	1	1	1	23	2.8	0.1	10.5	3.5	3	33	3
24	1	1	1	24	51.3	38	260.4	74.1	149.4	34	3
25	1	1	1	25	40.9	7.7	37.3	18.8	34.8	46	3
26	1	1	1	26	17.2	1	10.9	5.8	24.5	47	3
27	1	1	2	1	61	15.5	87.6	25.4	29.4	0	1
28	1	1	2	2	53.3	3.2	90.7	6	24	0	1
29	1	1	2	3	77.8	29.2	244.7	37.5	69.6	1	1
30	1	1	2	4	8.7	0.4	0	4.6	11.2	2	1
31	1	1	2	5	26.8	3.6	23	13.4	9.5	4	1
32	1	1	2	6	.	.	.	42.9	70	5	1
33	1	1	2	7	26.7	8.9	32	33.3	28.6	6	1
34	1	1	2	8	59.7	24.2	143.1	40.5	17	7	1
35	1	1	2	9	1	0.1	5.6	10.6	3.2	7	1
36	1	1	2	10	19.6	2.9	52.8	14.8	34.9	10	2
37	1	1	2	11	24.7	3.9	35.4	15.8	25	11	2
38	1	1	2	12	13	4.7	60.3	36.2	53.7	13	2
39	1	1	2	13	6.7	1.8	35.9	26.8	37.3	14	2
40	1	1	2	14	15.7	4.2	34.5	26.7	32	14	2
41	1	1	2	15	.	.	.	26.2	30	15	2
42	1	1	2	16	21.3	7.6	64	35.6	47	19	2
43	1	1	2	17	.	.	.	9.5	24.1	30	2
44	1	1	2	18	3.1	0.1	0	2.6	0.9	33	2
45	1	1	2	19	2.6	0.4	22.7	15	30	39	2
46	1	1	2	20	50.4	12.3	14.6	24.4	16.7	42	2
47	1	1	2	21	59.8	25	49	41.8	72.2	50	3
48	1	1	2	22	28.4	2.9	12.1	10.2	7.7	59	3
49	1	1	2	23	2.8	0.1	1.6	3.5	3	65	3
50	1	1	2	24	54	40	238.4	74.1	149.4	70	3
51	1	1	2	25	3.7	0.7	21.8	18.8	34.8	75	3
52	1	1	2	26	8.6	0.5	34	5.8	24.5	78	3
53	2	1	1	1	0	0	0	31	.	0	1
54	2	1	1	2	18.4	2.4	20.7	13	28	0	1
55	2	1	1	3	20.2	1.6	23.4	7.9	22.7	0	1
56	2	1	1	4	35.6	2.6	6.5	7.3	19.4	0	1
57	2	1	1	5	54.4	3.7	71	6.8	22.9	0	1

Sol 1 = HV1
 Sol 2 = HN1
 Sol 3 = VD1
 Sol 4 = VM2

Obs	annee	sol	site	date	K1	Lr	erosion	Hp	Imax	Rq	periode
58	2	1	1	6	.	.	68.3	25.5	64	0	1
59	2	1	1	7	36.4	4.3	26.9	11.8	14.6	0	1
60	2	1	1	8	1.4	0.1	3.6	7	4	0	2
61	2	1	1	9	51.5	5	23.9	9.7	16	0	2
62	2	1	1	10	6.2	0.2	13.5	3.2	14	0	2
63	2	1	1	11	.	.	5.3	33.4	52.5	0	2
64	2	1	1	12	24.7	2.5	31.8	10.1	26	0	2
65	2	1	1	13	23.5	5	19	21.3	15	0	2
66	2	1	1	14	1.5	0.1	13.6	6.6	13.1	0	2
67	2	1	1	15	97.5	40	109	41	53.4	0	2
68	2	1	1	16	.	.	50	13.2	31.9	0	2
69	2	1	1	17	99	30.3	80.4	30.3	44	0	2
70	2	1	1	18	.	.	.	34.3	27.3	0	3
71	2	1	1	19	24.2	1.5	17.4	6.2	10	0	3
72	2	1	1	20	6.8	0.38	13.1	5.6	10.6	0	3
73	2	1	1	21	18.7	1.44	17.9	7.7	7.5	0	3
74	2	1	1	22	78.5	5.5	20.5	7	13.3	8	3
75	2	1	1	23	.	.	.	14.2	17.6	0	3
76	2	1	2	1	0	0	0	31	.	0	1
77	2	1	2	2	26.1	3.4	20.4	13	28	0	1
78	2	1	2	3	1.2	0.1	18.1	7.9	22.7	0	1
79	2	1	2	4	41.1	3	7.7	7.3	19.4	0	1
80	2	1	2	5	0	0	0	6.8	22.9	0	1
81	2	1	2	6	.	.	26.9	25.5	64	0	1
82	2	1	2	7	8.5	1	20.3	11.8	14.6	0	1
83	2	1	2	8	1.4	0.1	4.4	7	4	0	2
84	2	1	2	9	0	0	0	9.7	16	0	2
85	2	1	2	10	3.1	0.1	3.2	3.2	14	0	2
86	2	1	2	11	54	18	30.7	33.4	52.5	0	2
87	2	1	2	12	19.8	2	9	10.1	26	0	2
88	2	1	2	13	23.5	5	3.8	21.3	15	0	2
89	2	1	2	14	4.5	0.3	5.7	6.6	13.1	0	2
90	2	1	2	15	48.8	20	11.3	41	53.4	0	2
91	2	1	2	16	83.3	11	57.1	13.2	31.9	0	2
92	2	1	2	17	75.6	22	114.3	30.3	44	0	2
93	2	1	2	18	1.8	0.62	1.1	34.3	27.3	0	3
94	2	1	2	19	0	0	0	6.2	10	0	3
95	2	1	2	20	0	0	0	5.6	10.6	.	3
96	2	1	2	21	0	0	0	7.7	7.5	.	3
97	2	1	2	22	12.8	0.9	4.8	7	13.3	.	3
98	2	1	2	23	30.2	4.3	2.9	14.2	17.6	.	3
99	1	2	1	1	59	15	78.9	25.4	29.4	2	1
100	1	2	1	2	30	1.8	15.7	6	24	4	1
101	1	2	1	3	67.7	25.4	411.5	37.5	69.6	5	1
102	1	2	1	4	21.7	1	4.5	4.6	11.2	6	1
103	1	2	1	5	25.4	3.4	22.7	13.4	9.5	11	1
104	1	2	1	6	71.8	30.8	753.4	42.9	70	13	1
105	1	2	1	7	15	5	69.2	33.3	28.6	15	1
106	1	2	1	8	.	.	.	40.5	17	16	1
107	1	2	1	9	18.8	2	5.3	10.6	3.2	17	1
108	1	2	1	10	62.1	9.2	35.5	14.8	34.9	20	2
109	1	2	1	11	60.7	9.6	100.2	15.8	25	23	2
110	1	2	1	12	.	.	.	36.2	53.7	28	2
111	1	2	1	13	91.4	24.5	533.5	26.8	37.3	35	2
112	1	2	1	14	86.1	23	146.7	26.7	32	36	2
113	1	2	1	15	.	.	.	26.2	30	38	2
114	1	2	1	16	.	.	.	35.6	47	43	2

Obs	annee	sol	site	date	Kl	Lr	erosion	Hp	Imax	Rg	periode
115	1	2	1	17	.	.	.	9.5	24.1	62	2
116	1	2	1	18	.	.	.	2.6	0.9	65	2
117	1	2	1	19	76	11.4	86.2	15	30	66	2
118	1	2	1	20	.	.	.	24.4	16.7	68	2
119	1	2	1	21	85.9	35.9	338	41.8	72.2	70	3
120	1	2	1	22	49	5	155.4	10.2	7.7	73	3
121	1	2	1	23	5.7	0.2	3.4	3.5	3	76	3
122	1	2	1	24	49.9	37	447.7	74.1	149.4	77	3
123	1	2	1	25	32.4	6.1	6.8	18.8	34.8	85	3
124	1	2	1	26	32.7	1.9	77.7	5.8	24.5	86	3
125	1	2	2	1	52.7	13.4	73.7	25.4	29.4	1	1
126	1	2	2	2	30.7	1.8	12.5	6	24	1	1
127	1	2	2	3	61.1	22.9	264.6	37.5	69.6	2	1
128	1	2	2	4	13	0.6	0.6	4.6	11.2	2	1
129	1	2	2	5	16.4	2.2	13.9	13.4	9.5	7	1
130	1	2	2	6	64.1	27.5	264.6	42.9	70	8	1
131	1	2	2	7	13.2	4.4	45.5	33.3	28.6	8	1
132	1	2	2	8	61.7	25	61.2	40.5	17	9	1
133	1	2	2	9	10.4	1.1	1.9	10.6	3.2	10	1
134	1	2	2	10	61.5	9.1	32.4	14.8	34.9	12	2
135	1	2	2	11	58.8	9.3	46.1	15.8	25	15	2
136	1	2	2	12	71.8	26	168.8	36.2	53.7	17	2
137	1	2	2	13	88	23.6	681	26.8	37.3	18	2
138	1	2	2	14	87.6	23.4	312.1	26.7	32	20	2
139	1	2	2	15	57.2	15	59.3	26.2	30	23	2
140	1	2	2	16	60.7	21.6	147.1	35.6	47	24	2
141	1	2	2	17	.	.	.	9.5	24.1	48	2
142	1	2	2	18	3.8	0.1	0	2.6	0.9	55	2
143	1	2	2	19	61.3	9.2	27.1	15	30	59	2
144	1	2	2	20	41	10	13.8	24.4	16.7	62	2
145	1	2	2	21	70.3	29.4	79.4	41.8	72.2	64	3
146	1	2	2	22	37.2	3.8	5.4	10.2	7.7	72	3
147	1	2	2	23	5.7	0.2	2.3	3.5	3	74	3
148	1	2	2	24	54	40	900.9	74.1	149.1	75	3
149	1	2	2	25	35.6	6.7	9.2	18.8	34.8	82	3
150	1	2	2	26	25.8	1.5	9.5	5.8	24.5	86	3
151	2	2	1	1	37.4	11.6	19.2	31	.	0	1
152	2	2	1	2	48.4	6.3	11.7	13	28	0	1
153	2	2	1	3	26.6	2.1	5	7.9	22.7	0	1
154	2	2	1	4	23.3	1.7	1.4	7.3	19.4	0	1
155	2	2	1	5	38.2	2.6	4	6.8	22.9	0	1
156	2	2	1	6	58	14.8	11.7	25.5	64	0	1
157	2	2	1	7	23.7	2.8	7.3	11.8	14.6	0	1
158	2	2	1	8	2.8	0.2	2.2	7	4	0	2
159	2	2	1	9	28.8	2.8	5.2	9.7	16	0	2
160	2	2	1	10	12.4	0.4	1.2	3.2	14	0	2
161	2	2	1	11	56.9	19	44.6	33.4	52.5	0	2
162	2	2	1	12	49.5	5	3.1	10.1	26	0	2
163	2	2	1	13	46.9	10	5.3	21.3	15	0	2
164	2	2	1	14	21.2	1.4	2.6	6.6	13.1	0	2
165	2	2	1	15	48.8	20	16.6	41	53.4	0	2
166	2	2	1	16	68.2	9	8	13.2	31.9	0	2
167	2	2	1	17	69.3	21	16.1	30.3	44	0	2
168	2	2	1	18	43.7	15	7.4	34.3	27.3	0	3
169	2	2	1	19	16.4	1.02	1.7	6.2	10	0	3
170	2	2	1	20	10.3	0.58	1.4	5.6	10.6	0	3
171	2	2	1	21	17.4	1.34	3	7.7	7.5	0	3

Obs	annee	sol	site	date	K1	Lr	erosion	Hp	Imax	Rq	periode
172	2	2	1	22	50.8	3.56	3.5	7	13.3	0	3
173	2	2	1	23	30.9	4.4	2.2	14.2	17.6	0	3
174	2	2	2	1	49	15.2	37.8	31	.	0	1
175	2	2	2	2	54.6	7.1	13.3	13	28	0	1
176	2	2	2	3	31.6	2.5	5.4	7.9	22.7	0	1
177	2	2	2	4	23.3	1.7	1.6	7.3	19.4	0	1
178	2	2	2	5	41.2	2.6	2.6	6.8	22.9	0	1
179	2	2	2	6	35.7	9.1	5.6	25.5	64	0	1
180	2	2	2	7	18.6	2.2	4	11.8	14.6	0	1
181	2	2	2	8	1.4	0.1	2.5	7	4	0	2
182	2	2	2	9	30.9	3	5.9	9.7	16	0	2
183	2	2	2	10	12.5	0.4	3.6	3.2	14	0	2
184	2	2	2	11	65.5	21.9	40.1	33.4	52.5	0	2
185	2	2	2	12	51.5	5.2	7.7	10.1	26	0	2
186	2	2	2	13	51.6	11	5.1	21.3	15	0	2
187	2	2	2	14	24.2	1.6	4.8	6.6	13.1	0	2
188	2	2	2	15	73.2	30	20.8	41	53.4	0	2
189	2	2	2	16	75.7	10	21.4	13.2	31.9	0	2
190	2	2	2	17	69.3	21	43	30.3	44	0	2
191	2	2	2	18	46.6	16	12.4	34.3	27.3	0	3
192	2	2	2	19	17	1.12	2.2	6.2	10	0	3
193	2	2	2	20	13.5	0.76	2.1	5.6	10.6	0	3
194	2	2	2	21	25.9	2	5.7	7.7	7.5	0	3
195	2	2	2	22	47.4	3.32	1.3	7	13.3	0	3
196	2	2	2	23	29.2	4.15	3.4	14.2	17.6	0	3
197	1	3	1	1	59	15	69.7	25.4	29.4	1	1
198	1	3	1	2	30	1.8	9	6	24	3	1
199	1	3	1	3	77.6	29.1	223.2	37.5	69.6	10	1
200	1	3	1	4	2.2	0.1	1.1	4.6	11.2	12	1
201	1	3	1	5	19.4	2.6	11.5	13.4	9.5	23	1
202	1	3	1	6	71.3	30.6	13.9	42.9	70	27	1
203	1	3	1	7	62.4	20.8	31.5	33.3	28.6	31	1
204	1	3	1	8	66.6	27	19.1	40.5	17	35	1
205	1	3	1	9	9.4	1	2	10.6	3.2	40	1
206	1	3	1	10	50.7	7.5	14.5	14.8	34.9	58	2
207	1	3	1	11	39.2	6.2	25.9	15.8	25	62	2
208	1	3	1	12	69	25	32.4	36.2	53.7	70	2
209	1	3	1	13	64.2	17.2	55.6	26.8	37.3	73	2
210	1	3	1	14	76.4	20.4	45.9	26.7	32	75	2
211	1	3	1	15	38.1	10	6.5	26.2	30	78	2
212	1	3	1	16	81.4	29	15	35.6	47	81	2
213	1	3	1	17	.	.	.	9.5	24.1	88	2
214	1	3	1	18	3.8	0.1	0	2.6	0.9	89	2
215	1	3	1	19	1	0.1	2.6	15	30	91	2
216	1	3	1	20	.	.	.	24.4	16.7	92	2
217	1	3	1	21	34.2	14.3	3.9	41.8	72.2	93	3
218	1	3	1	22	.	.	.	10.2	7.7	94	3
219	1	3	1	23	2.8	0.1	1.1	3.5	3	95	3
220	1	3	1	24	51.7	38.3	98.4	74.1	149.4	96	3
221	1	3	1	25	.	.	.	18.8	34.8	98	3
222	1	3	1	26	.	.	.	5.8	24.5	99	3
223	1	3	2	1	47.2	12	118	25.4	29.4	4	1
224	1	3	2	2	8.3	0.5	8.6	6	24	7	1
225	1	3	2	3	59.2	22.2	164.9	37.5	69.6	23	1
226	1	3	2	4	2.2	0.1	2.5	4.6	11.2	31	1
227	1	3	2	5	3.7	0.5	10.2	13.4	9.5	63	1
228	1	3	2	6	25.4	10.9	61.3	42.9	70	66	1

Obs	annee	sol	site	date	Kl	Lr	erosion	Hp	Imax	Rq	periode
229	1	3	2	7	45.3	15.1	17	33.3	28.6	72	1
230	1	3	2	8	19.7	8	8.1	40.5	17	79	1
231	1	3	2	9	3.8	0.4	7.6	10.6	3.2	80	1
232	1	3	2	10	36.5	5.4	12.5	14.8	34.9	86	2
233	1	3	2	11	22.8	3.6	7.7	15.8	25	89	2
234	1	3	2	12	41.4	15	20.9	36.2	53.7	92	2
235	1	3	2	13	1	0.2	25.6	26.8	37.3	93	2
236	1	3	2	14	74.9	20	38.1	26.7	32	93	2
237	1	3	2	15	1	0.2	5.6	26.2	30	94	2
238	1	3	2	16	36.2	12.9	3.2	35.6	47	96	2
239	1	3	2	17	.	.	.	9.5	24.1	98	2
240	1	3	2	18	15.4	0.4	2.5	2.6	0.9	98	2
241	1	3	2	19	2.6	0.4	7.6	15	30	99	2
242	1	3	2	20	3.2	0.8	3.1	24.4	16.7	99	2
243	1	3	2	21	65.8	27.5	105.4	41.8	72.2	99	3
244	1	3	2	22	61.7	6.3	17.5	10.2	7.7	99	3
245	1	3	2	23	20	0.7	1.1	3.5	3	99	3
246	1	3	2	24	50.3	37.3	79.8	74.1	149.4	99	3
247	1	3	2	25	1.6	0.3	3.2	18.8	34.8	100	3
248	1	3	2	26	1.7	0.1	1.7	5.8	24.5	100	3
249	2	3	1	1	21.6	6.7	43.2	31	.	0	1
250	2	3	1	2	5.4	0.7	30.7	13	28	0	1
251	2	3	1	3	5	0.4	9.7	7.9	22.7	0	1
252	2	3	1	4	1.3	0.1	4.1	7.3	19.4	0	1
253	2	3	1	5	1.5	0.1	2.9	6.8	22.9	0	1
254	2	3	1	6	26.6	6.8	3	25.5	64	0	1
255	2	3	1	7	2.5	0.3	4.4	11.8	14.6	0	1
256	2	3	1	8	0	0	0	7	4	0	2
257	2	3	1	9	2	0.2	7.2	9.7	16	0	2
258	2	3	1	10	0	0	0	3.2	14	0	2
259	2	3	1	11	15	5	8.3	33.4	52.5	0	2
260	2	3	1	12	3.9	0.4	1.6	10.1	26	0	2
261	2	3	1	13	3.7	0.8	1.6	21.3	15	0	2
262	2	3	1	14	0	0	0	6.6	13.1	0	2
263	2	3	1	15	16.4	6	4	41	53.4	0	2
264	2	3	1	16	.	.	13.5	13.2	31.9	0	2
265	2	3	1	17	99	30	26.9	30.3	44	0	2
266	2	3	1	18	1.3	0.46	1.1	34.3	27.3	0	3
267	2	3	1	19	0	0	0	6.2	10	0	3
268	2	3	1	20	0	0	0	5.6	10.6	0	3
269	2	3	1	21	1.3	0.1	6.4	7.7	7.5	0	3
270	2	3	1	22	0	0	0	7	13.3	0	3
271	2	3	1	23	1.6	0.23	3.1	14.2	17.6	0	3
272	2	3	2	1	13.9	4.3	20.1	31	.	0	1
273	2	3	2	2	3.8	0.5	2.5	13	28	0	1
274	2	3	2	3	1.2	0.1	11.2	7.9	22.7	0	1
275	2	3	2	4	0	0	0	7.3	19.4	0	1
276	2	3	2	5	5.9	0.4	5.7	6.8	22.9	0	1
277	2	3	2	6	49.8	12.7	3.5	25.5	64	0	1
278	2	3	2	7	23.7	2.8	7.2	11.8	14.6	0	1
279	2	3	2	8	0	0	0	7	4	0	2
280	2	3	2	9	6.2	0.6	2.1	9.7	16	0	2
281	2	3	2	10	0	0	0	3.2	14	0	2
282	2	3	2	11	42.5	14.2	11.3	33.4	52.5	0	2
283	2	3	2	12	.	.	5.1	10.1	26	0	2
284	2	3	2	13	23.5	5	7.2	21.3	15	0	2
285	2	3	2	14	60.6	4	10.6	6.6	13.1	0	2

Obs	annee	sol	site	date	K1	Lr	erosion	Hb	Imax	Rg	periode
286	2	3	2	15	75.6	31	31.4	41	53.4	0	2
287	2	3	2	16	.	.	12.2	13.2	31.9	0	2
288	2	3	2	17	76.5	23.2	25.2	30.3	44	0	2
289	2	3	2	18	78.7	27	16.8	34.3	27.3	0	3
290	2	3	2	19	6.7	0.42	3.7	6.2	10	0	3
291	2	3	2	20	0	0	0	5.6	10.6	0	3
292	2	3	2	21	0	0	0	7.7	7.5	0	3
293	2	3	2	22	22.1	1.55	5.2	7	13.3	0	3
294	2	3	2	23	34.5	4.9	4.5	14.2	17.6	0	3
295	1	4	1	1	98.4	25	173.5	25.4	29.4	24	1
296	1	4	1	2	65	3.9	48.9	6	24	29	1
297	1	4	1	3	91.4	34.3	884.5	37.5	69.6	40	1
298	1	4	1	4	.	.	.	4.6	11.2	44	1
299	1	4	1	5	.	.	.	13.4	9.5	50	1
300	1	4	1	6	.	.	.	42.9	70	53	1
301	1	4	1	7	74.8	24.9	37.7	33.3	28.6	60	1
302	1	4	1	8	63.4	25.7	99.9	40.5	17	62	1
303	1	4	1	9	.	.	.	10.6	3.2	65	1
304	1	4	1	10	34.4	5.1	22	14.8	34.9	74	2
305	1	4	1	11	.	.	.	15.8	25.9	78	2
306	1	4	1	12	75.7	27.4	88.9	36.2	53.7	80	2
307	1	4	1	13	.	.	.	26.8	37.3	85	2
308	1	4	1	14	56.2	15	9.5	26.7	32	86	2
309	1	4	1	15	51.9	13.6	11	26.2	30	87	2
310	1	4	1	16	25.8	9.2	15.8	35.6	47	90	2
311	1	4	1	17	.	.	.	9.5	24.1	95	2
312	1	4	1	18	.	.	.	2.6	0.9	98	2
313	1	4	1	19	2	0.3	10.7	15	30	99	2
314	1	4	1	20	35.2	8.6	5	24.4	16.7	100	2
315	1	4	1	21	88.5	37	49.2	41.8	72.2	100	3
316	1	4	1	22	.	.	.	10.2	7.7	100	3
317	1	4	1	23	.	.	.	3.5	3	100	3
318	1	4	1	24	51.3	38	42.3	74.1	149.4	100	3
319	1	4	1	25	1	0.2	67.5	18.8	34.8	100	3
320	1	4	1	26	.	.	.	5.8	24.5	100	3
321	1	4	2	1	90.9	23.1	212.9	25.4	29.4	20	1
322	1	4	2	2	56.6	3.4	49.8	6	24	23	1
323	1	4	2	3	66.6	25	288.8	37.5	69.6	30	1
324	1	4	2	4	.	.	.	4.6	11.2	33	1
325	1	4	2	5	8.2	1.1	19.1	13.4	9.5	42	1
326	1	4	2	6	.	.	.	42.9	70	46	1
327	1	4	2	7	89.5	29.8	107	33.3	28.6	50	1
328	1	4	2	8	96.3	39	70.3	40.5	17	51	1
329	1	4	2	9	26.4	2.8	9.7	10.6	3.2	52	1
330	1	4	2	10	55.4	8.2	28.7	14.8	34.9	60	2
331	1	4	2	11	36.7	5.8	37.6	15.8	25	64	2
332	1	4	2	12	62.7	22.7	210.5	36.2	53.7	66	2
333	1	4	2	13	60.4	16.2	174.2	26.8	37.3	70	2
334	1	4	2	14	26.9	7.2	62.9	26.7	32	74	2
335	1	4	2	15	19.1	5	15.7	26.2	30	78	2
336	1	4	2	16	32	11.4	43.7	35.6	47	73	2
337	1	4	2	17	.	.	.	9.5	24.1	80	2
338	1	4	2	18	3.8	0.1	1	2.6	0.9	89	2
339	1	4	2	19	2.6	0.4	6.9	15	30	92	2
340	1	4	2	20	2.4	0.6	4.8	24.4	16.7	93	2
341	1	4	2	21	47.8	20	24	41.8	72.2	93	3
342	1	4	2	22	.	.	.	10.2	7.7	94	3

bs	annee	sol	site	date	Ki	Lr	erosion	Hp	Imax	Rq	periode
43	1	4	2	23	.	.	.	3.5	3	96	3
44	1	4	2	24	52.6	39	8.6	74.1	149.4	97	3
45	1	4	2	25	2.1	0.4	60.8	18.8	34.8	99	3
46	1	4	2	26	.	.	.	5.8	24.5	100	3
47	2	4	1	1	41.6	12.9	55.8	31	.	0	1
48	2	4	1	2	21.5	2.8	40.4	13	28	0	1
49	2	4	1	3	0	0	0	7.9	22.7	0	1
50	2	4	1	4	41.1	3	13	7.3	19.4	0	1
51	2	4	1	5	0	0	0	6.8	22.9	0	1
52	2	4	1	6	61.9	15.8	12.6	25.5	64	0	1
53	2	4	1	7	27.1	3.2	15.4	11.8	14.6	0	1
54	2	4	1	8	1.4	0.1	4.2	7	4	0	2
55	2	4	1	9	22.7	2.2	6.4	9.7	16	0	2
56	2	4	1	10	0	0	0	3.2	14	0	2
57	2	4	1	11	56.9	19	39.7	33.4	52.5	0	2
58	2	4	1	12	23.7	2.4	2.2	10.1	26	0	2
59	2	4	1	13	32.8	7	5.3	21.3	15	0	2
60	2	4	1	14	0	0	0	6.6	13.1	0	2
61	2	4	1	15	36.6	15	6.1	41	53.4	0	2
62	2	4	1	16	7.6	1	8.3	13.2	31.9	0	2
63	2	4	1	17	59.4	18	15	30.3	44	0	2
64	2	4	1	18	8.7	3	2.5	34.3	27.3	0	3
65	2	4	1	19	0	0	0	6.2	10	0	3
66	2	4	1	20	0	0	0	5.6	10.6	0	3
67	2	4	1	21	3.2	0.25	5.1	7.7	7.5	0	3
68	2	4	1	22	4.4	0.31	3.7	7	13.3	0	3
69	2	4	1	23	2.9	0.41	0	14.2	17.6	0	3
70	2	4	2	1	.	.	42.7	31	.	0	1
71	2	4	2	2	5.4	0.7	8.7	13	28	0	1
72	2	4	2	3	15.2	1.2	5.1	7.9	22.7	0	1
73	2	4	2	4	21.9	1.6	3.6	7.3	19.4	0	1
74	2	4	2	5	4.4	0.3	4.3	6.8	22.9	0	1
75	2	4	2	6	34.1	8.7	12.1	25.5	64	0	1
76	2	4	2	7	22	2.6	7.5	11.8	14.6	0	1
77	2	4	2	8	0	0	0	7	4	0	2
78	2	4	2	9	9.3	0.9	2.3	9.7	16	0	2
79	2	4	2	10	0	0	0	3.2	14	0	2
80	2	4	2	11	.	.	2.2	33.4	52.5	0	2
81	2	4	2	12	79.8	17	5	21.3	15	0	2
82	2	4	2	13	79.8	17	5	21.3	15	0	2
83	2	4	2	14	0	0	0	6.6	13.1	0	2
84	2	4	2	15	80.5	33	11.3	41	53.4	0	2
85	2	4	2	16	13.6	1.8	6	13.2	31.9	0	2
86	2	4	2	17	75.6	22	14.2	30.3	44	0	2
87	2	4	2	18	.	.	.	34.3	27.3	0	3
88	2	4	2	19	0	0	0	6.2	10	0	3
89	2	4	2	20	0	0	0	5.6	10.6	0	3
90	2	4	2	21	2.3	0.18	2.2	7.7	7.5	0	3
91	2	4	2	22	5.8	0.41	3.4	7	13.3	0	3
92	2	4	2	23	5.2	0.74	0	14.2	17.6	0	3

A N N E X E 6

- 6.1 Résultats Mouhour 1986
- 6.2 Résultats Mouhour 1987
- 6.3 Energie des pluies à Mokolo
(31.07.86 et 20.09.86)
- 6.4 Liste floristique de Mouhour

ANNEXE N° 6.1

RESULTATS PAR EVENEMENT PLUVIEUX A MOUHOUR
1986

Date	Hp (mm)	I max (mm/h)		N°	LR (mm)	Ke (%)	E (Kg)
		30'	15'				
14/6	13.2	15.2	27.8	J1	0.1	99.2	0.8
				J2	0.2	98.5	0.5
				C1	3.2	75.7	4.5
				C2	2.1	84.1	3.6
18/6	27.5	55.0	93.1	J1	2.1	92.3	6.2
				J2	2.5	90.9	5.6
				C1	21.7	21.1	64.2
				C2	14.1	46.7	36.7
22/6	11.0	18.0	36.0	J1	Trace	100	0
				J2	Trace	100	0
				C1	0.2	98.1	0.4
				C2	0.2	98.1	0.5
26/6	33.0			J1	1.8	94.5	4.2
				J2	1.8	94.5	3.0
				C1	16.0	51.5	38.0
				C2	13.5	59.1	21.4
03-04/7				J1	1.1	97.5	2.2
				J2	1.1	97.5	1.8
				C1	38.0	15.5	57.0
				C2	13.1	70.9	13.7

Date	Hp (mm)	I max (mm/h)		N°	LR (mm)	Ke (%)	E (Kg)
		30'	15'				
14/7	14.0	6.2	7.2	J1	Trace	100	0
				J2	Trace	100	0
				C1	Trace	100	0
				C2	Trace	100	0
20/7	69.0	1.3	110.0	J1	3.5	94.9	9.0
				J2	3.5	94.9	5.4
				C1	42.5	38.4	58.5
				C2	54.2	21.4	46.8
22/7	23.0	22.5	30.0	J1	0.4	98.2	0.2
				J2	0.2	99.1	0.1
				C1	3.2	86.1	1.3
				C2	1.9	91.7	0.9
28/8	17.0	32.1	43.1	J1	0.3	98.2	0.4
				J2	0.1	99.4	0.2
				C1	1.0	94.1	1.0
				C2	0.5	97.0	0.5
31/7	84.0	73.8	75.1	J1	5.7	93.2	2.3
				J2	5.2	93.8	2.3
				C1	29.1	65.3	13.4
				C2	22.5	73.2	13.8

ANNEXE N° 6.1

RESULTATS PAR EVENEMENT PLUVIEUX A MOUHOOR

1986

Date	Hp (mm)	I max (mm/h)		N°	LR (mm)	Ke (%)	E (Kg)
		30'	15'				
03/8	16.0	30.2	60.5	J1	0.5	96.8	0.3
				J2	0.5	96.6	0.3
				C1	6.8	57.5	3.4
				C2	4.4	72.5	1.8
05/8	22.0	31.6	54.5	J1	0.4	98.2	0.5
				J2	0.2	99.1	0.3
				C1	5.4	75.4	2.4
				C2	4.5	79.5	1.5
07/8	10.0	19.4	38.8	J1	Trace	100	0
				J2	Trace	100	0
				C1	1.4	88.0	0.4
				C2	0.8	92.0	0.2
17/8	4.5	7.2	14.4	J1	Trace	100	0
				J2	Trace	100	0
				C1	Trace	100	0
				C2	Trace	100	0
16/8	10.5	20.0	34.7	J1	0.1	99.0	0.1
				J2	0.1	99.0	0.2
				C1	0.1	99.0	0.1
				C2	0.1	99.0	0.1

Date	Hp (mm)	I max (mm/h)		N°	LR (mm)	Ke (%)	E (Kg)
		30'	15'				
2-24/8	15.0	10.0	20.0	J1	Trace	100	0
				J2	Trace	100	0
				C1	Trace	100	0
				C2	Trace	100	0
29/8	18.2	25.9	41.3	J1	Trace	100	0
				J2	Trace	100	0
				C1	0.1	99.4	0.2
				C2	0.1	99.4	0.2
31/8	20.0	14.6	16.4	J1	Trace	100	0
				J2	Trace	100	0
				C1	Trace	100	0
				C2	Trace	100	0
02/9	20.0	22.3	29.5	J1	Trace	100	0
				J2	Trace	100	0
				C1	0.1	99.5	0.1
				C2	0.1	99.5	0.1
04/9	32.0	35.5	36.6	J1	0.2	99.3	0.1
				J2	0.2	99.3	0.1
				C1	0.7	97.8	0.4
				C2	0.4	99.7	0.2

Date	Hp (mm)	I max (mm/h)		N°	LR (mm)	Ke (%)	E (Kg)
		30'	15'				
06/9	7.5	10.7	21.4	J1	Trace	100	0
				J2	Trace	100	0
				C1	0.1	98.6	0.1
				C2	0.1	98.6	0.1
09/9	40.0	44.4	87.4	J1	0.5	98.7	0.1
				J2	0.3	99.2	0.1
				C1	3.0	92.5	1.6
				C2	2.5	93.7	1.5
14/9	34.0	36.2	41.5	J1	Trace	100	0
				J2	Trace	100	0
				C1	4.0	88.2	1.2
				C2	3.0	91.1	0.9
17/9	40.0	Non enregistré		J1	0.8	98.7	0.2
				J2	0.5	98.7	0.2
				C1	9.8	75.5	4.1
				C2	7.0	82.5	2.8
20/9	62.0	92.5	111.0	J1	13.0	79.0	0.5
				J2	12.5	79.8	0.9
				C1	31.7	48.8	16.5
				C2	22.3	64.0	8.3

Date	Hp (mm)	I max (mm/h)		N°	LR (mm)	Ke (%)	E (Kg)
		30'	15'				
24/9	9.0	14.6	21.3	J1	Trace	100	0
				J2	Trace	100	0
				C1	0.5	94.4	0.5
				C2	0.2	97.7	0.3
				J1			
				J2			
				C1			
				C2			
				J1			
				J2			
				C1			
				C2			
				J1			
				J2			
				C1			
				C2			
				J1			
				J2			
				C1			
				C2			

ANNEXE N° 6.2

RESULTATS PAR EVENEMENT PLUVIEUX A MOUHOUR
1987

Date	Hp (mm)	I max (mm/h)		N°	LR (mm)	Ke (%)	E (kg)
		30'	15'				
3-4/6	100.0	41.9	49.5	J1	1.2	98.8	0.120
				C1J	10.5	89.5	6.391
				J2C	2.6	97.4	1.002
				C2N	11.0	89.0	6.338
				J1	0.7	97.4	0.287
5/6	27.0	11.5	11.7	C1J	déficient		
				J2C	5.3	80.3	2.624
				C2N	déficient		
				J1	1.3	98.1	0.293
27-29/6	70.0	Non enregistré		C1J	4.1	94.1	9.273
				J2C	9.8	86.0	4.535
				C2N	33.8	51.7	23.046
				J1	0.02	98.8	1.152
4/7	10.0	8.8	16.0	C1J	0.14	98.6	1.152
				J2C	0.03	99.7	0.892
				C2N	0.37	98.3	0.854
				J1	0.1	99.6	-
6-7/7	28.0	22.6	27.9	C1J	0.9	96.7	0.537
				J2C	0.2	99.3	-
				C2N	2.23	81.7	1.521
				J1	0.1	99.6	-

Date	Hp (mm)	I max (mm/h)		N°	LR (mm)	Ke (%)	E (kg)
		30'	15'				
9-10/7	26.0	20.4	40.5	J1	0.2	98.2	-
				C1J	3.0	88.1	3.087
				J2C	0.5	98.1	0.781
				C2N	5.2	80.0	3.341
11/7	71.5	79.9	91.6	J1	12.8	82.1	0.641
				C1J	40.2	43.7	18.152
				J2C	42.5	40.5	12.719
				C2N	45.0	37.0	19.556
25/7	22.0	36.8	40.8	J1	0.5	97.7	0.236
				C1J	0.5	97.7	0.157
				J2C	0.1	98.5	0.476
				C2N	0.1	99.5	0.453
28/7	22.0	21.0	29.4	J1	0.05	99.7	-
				C1J	0.10	99.4	0.068
				J2C	0.05	98.6	-
				C2N	0.07	99.6	0.207
7/8	10.2	14.4	24.3	J1	0	100	-
				C1J	0.02	99.8	0.057
				J2C	0.02	99.7	0.285
				C2N	0.03	99.7	0.159

C2N arrêtée le 13.7.87

J2C arrêtée le 20.7.87

1987

Date	Hp (mm)	I max (mm/h)		N°	LR (mm)	Ke (%)	E (Kg)
		30'	15'				
17/8	13.0	16.5	20.2	J1	0	100	-
				C1J	0.04	99.7	-
				J2C	0.04	99.6	-
				C2N	0.04	99.6	-
18/8	18.2	17.4	34.9	J1	0.06	99.6	-
				C1J	0.2	98.9	0.115
				J2C	0.16	99.1	0.054
				C2N	0.2	98.9	0.233
19/8	57.5	89.1	90.4	J1	0.6	98.9	0.138
				C1J	5.98	89.6	1.968
				J2C	9.16	84.0	5.145
				C2N	18.07	68.5	4.600
21/8	26.0	26.6	31.7	J1	0.05	99.8	0.068
				C1J	0.33	98.8	0.084
				J2C	0.27	99.0	0.336
				C2N	0.8	97.1	0.272
24/8	12.7	12.0	21.6	J1	0	100	-
				C1J	0.05	99.6	-
				J2C	0.06	99.5	-
				C2N	0.09	99.3	-

Date	Hp (mm)	I max (mm/h)		N°	LR (mm)	Ke (%)	E (Kg)
		30'	15'				
26/8	28.5	43.2	67.8	J1	0.09	99.6	-
				C1J	0.46	98.3	0.049
				J2C	0.52	98.2	0.225
				C2N	1.95	93.1	0.597
27/8	12.0	19.2	33.9	J1	0.03	99.7	-
				C1J	0.13	98.9	-
				J2C	0.16	98.6	-
				C2N	0.45	96.2	0.186
28/8	10.5	23.0	30.3	J1	0.04	99.6	0.068
				C1J	0.17	98.3	0.070
				J2C	0.19	98.2	0.179
				C2N	0.5	95.2	0.264
29/8	13.2	26.5	47.2	J1	0.13	99.0	0.116
				C1J	0.34	97.4	0.084
				J2C	0.67	96.3	0.383
				C2N	2.2	83.3	0.602
4/9	10.4	20.4	38.7	J1	0.02	99.8	-
				C1J	0.09	99.1	-
				J2C	0.02	99.8	-
				C2N	0	100	-

MOKOLO 31/07/86

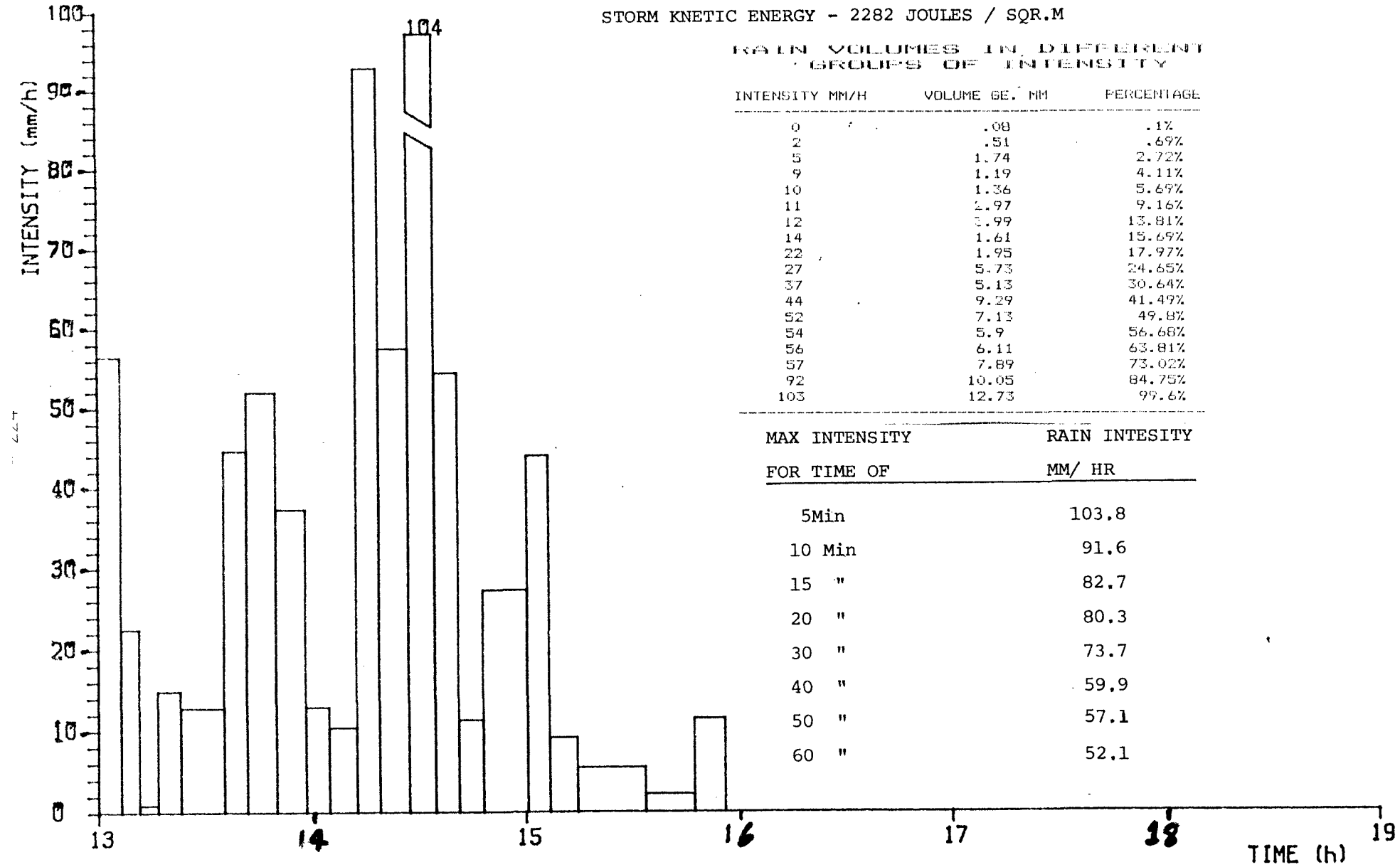
RAIN=85.7 mm

STORM KNETIC ENERGY - 2282 JOULES / SQR.M

RAIN VOLUMES IN DIFFERENT GROUPS OF INTENSITY

INTENSITY MM/H	VOLUME GE. MM	PERCENTAGE
0	.08	.1%
2	.51	.6%
5	1.74	2.72%
9	1.19	4.11%
10	1.36	5.6%
11	2.97	9.16%
12	3.99	13.81%
14	1.61	15.6%
22	1.95	17.97%
27	5.73	24.65%
37	5.13	30.64%
44	9.29	41.49%
52	7.13	49.8%
54	5.9	56.68%
56	6.11	63.81%
57	7.89	73.02%
92	10.05	84.75%
103	12.73	99.6%

MAX INTENSITY FOR TIME OF	RAIN INTESITY MM/ HR
5Min	103.8
10 Min	91.6
15 "	82.7
20 "	80.3
30 "	73.7
40 "	59.9
50 "	57.1
60 "	52.1

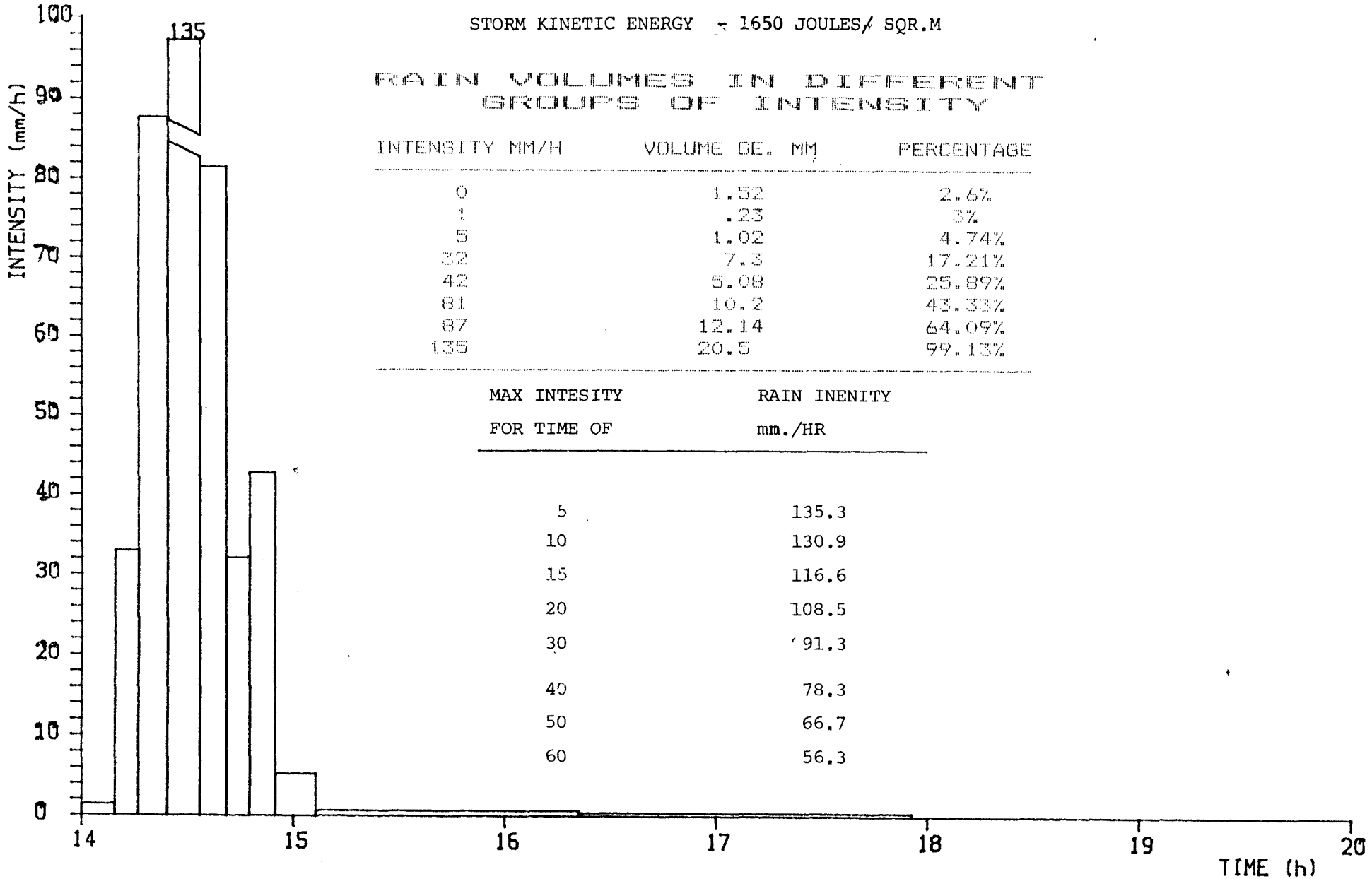


MOKOLO 20/09/86 RAIN=58.5 mm

STORM KINETIC ENERGY = 1650 JOULES/ SQR.M

RAIN VOLUMES IN DIFFERENT GROUPS OF INTENSITY

INTENSITY MM/H	VOLUME GE. MM	PERCENTAGE
0	1.52	2.6%
1	.23	3%
5	1.02	4.74%
32	7.3	17.21%
42	5.08	25.89%
81	10.2	43.33%
87	12.14	64.09%
135	20.5	99.13%



MAX INTESITY FOR TIME OF	RAIN INENITY mm./HR
-----------------------------	------------------------

5	135.3
10	130.9
15	116.6
20	108.5
30	91.3
40	78.3
50	66.7
60	56.3

LISTE FLORISTIQUE (non exhaustive)

Strate I 0 - 50 cm Recouvrement Station MOHOUR (Jachère)
 II 50cm - 2m 98,5% Date : 28.9.87
 III > 2 m Auteur : P. DONFACK

	N°	NOM DE L'ESPECE	Rec. (%)	STRATE	OBSERVATIONS			
Arbustes	1	Acacia sp.	2,5	II				
	2	Annona senegalensis	3	II				
	3	Cassia sieberiana	1,5	II				
	4	Piliostigma thonningii	4,5	II				
Liane	5	Cissus sp.		I				
HERBES	GRAMINOIDES	6	Andropogon pseudapricus	r	I			
		7	Ancilema lanceolatum	r	I			
		8	Aristida adscensionis	l	I			
		9	Brachiaria xantholeuca	r	I			
		10	Commelina lagosensis	4	I	Commelinacée		
		11	Cyperus sp.	r	I	Cyperacée		
		12	Dactyloctenium aegyptium	3	I			
		13	Digitaria ciliaris	r	I			
		14	Digitaria nuda	r	I			
		15	Eragrostis tremula	r	I			
		16	Fim bristylis hispidula	r	I	Cyperacée		
		17	Hachelochloa granularis	1,5	I			
		18	Pennisetum pedicellatum	11	I			
		19	Setaria pumila	50,5	I			
		20	Sporobolus festivus	1,5	I	Pérenne		
		21	Tripogon minimus	r	I			
		HERBES	PHORBES	22	Acalypha segetalis	r	I	
				23	Acanthospermum hispidum	r	I	
				24	Aspilia helanthoides	r	I	
				25	Boreria scabra	r	I	
				26	Boreria sp.	2,5	I	
27	Cassia obtusifolia				I			
28	Ceratotheca sesamoides			r	I			
29	Crisanthellum americana			18	I			
30	Crotalaria microcarpa			r	I			
31	Crotalaria sp.			4	I			
32	Hibiscus sabdariffa			6,5	I			
33	Indigofera secundiflora			r	I			
34	Indigofera stenophela			30,5	I			
35	Indigofera sp.			r	I			
36	Ipomoea eriocarpa			3,5	I			
37	Kohautia grandiflora			r	I			
38	Leucas martinicensis			r	I			
39	Physalis micrantha			r	I			
40	Rhynchelytrum repens	r	I					
41	Striga sp.	r	I					
42	Tridax procumbenz	r	I					
43	Walteria indica	r	I					
	44	Zornia glochidiata	7,5	I				

Contractant : Institut de la Recherche Agronomique - CAMEROUN
(IRA YAOUNDE)

Contrat n° : TSD/A/216/CAM (S)

Chef de projet : Henri MOUKOURI KUOH - Centre National des Sols (CNS/IRA)

Titre du projet : UTILISATION ET CONSERVATION DES RESSOURCES EN SOLS
ET EN EAUX DANS LE NORD CAMEROUN.

1. OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

Le présent projet a été réalisé conjointement par le Centre National des Sols de l'Institut de la Recherche Agronomique du CAMEROUN (CNS/IRA YAOUNDE), le Centre de Recherche Hydrologique de l'Institut de Recherche Géologique et Minière (CRH/IRGM YAOUNDE), l'ORSTOM (*mission au CAMEROUN*) et le Centre Louis Emberger (CEPE/CNRS MONTPELLIER).

Les zones concernées par le projet sont principalement la plaine du Diamaré et ses bordures, où la pluviosité moyenne annuelle est de 650 à 750 mm, ainsi qu'un secteur des monts Mandara bordant à l'ouest cette plaine, où la pluviosité est supérieure (800 à 1 000 mm) ; l'ensemble est situé dans la province de l'extrême Nord du CAMEROUN.

Dans une situation de déséquilibres biologiques liés à la surexploitation du milieu naturel et en vue d'une meilleure utilisation des ressources en eau, en sol et en végétation, le projet de recherche vise à renforcer et initier un certain nombre d'actions concernant la dynamique de l'eau à l'interface sol-plante-atmosphère et à préciser les processus de dégradation et éventuellement de régénération des sols et de la végétation naturelle. C'est ainsi que sont menées des études concernant :

- la caractérisation et la cartographie des systèmes écologiques d'une zone test (BV MOUDA), permettant de préciser la distribution spatiale et l'utilisation des ressources d'un territoire, la dynamique actuelle du milieu face à certaines perturbations et de globaliser les observations stationnelles ;

- le cycle de vie des espèces végétales spontanées en relation avec le partage de la ressource hydrique du sol sur les principaux types de milieux de la région de MOUDA : savane arborée sur sol ferrugineux cuirassé, savane à épineux sur vertisol, savane très dégradée des zones "hardé" ;

- la caractérisation et la quantification à différentes échelles du ruissellement et des pertes en sol des principaux systèmes écologiques de la région, en insistant sur les facteurs conditionnels de ces phénomènes, les problèmes du transfert d'échelle, et la sensibilité des milieux à l'érosion hydrique ;

- l'impact de certains aménagements traditionnels sur la dynamique du milieu, en vue d'une réflexion sur les actions d'aménagement à entreprendre pour une meilleure gestion de l'espace rural.

Enfin, le projet devrait former une équipe nationale rodée aux méthodes de l'inventaire global des ressources, apte à conduire des recherches pluridisciplinaires sur le fonctionnement et l'évolution des milieux.

2. MATERIELS ET METHODES

Les échelles auxquelles ont été effectués les différents axes de recherche sont très variées. En ce qui concerne le ruissellement et l'érosion, elles vont de la micro- parcelle (1 m²) au bassin versant (X km²) en passant par le mini bassin versant (X 10³ m²) ; certaines études ont été faites en mode diachrone : étude des bilans d'eau, d'érosion et des régimes hydriques des sols sur plusieurs années, d'autres en mode synchrone (simulation de pluie sur micro- parcelle).

Si les inventaires cartographiques (sol, végétation, occupation des terres) ont été réalisés à petites échelles, la caractérisation des systèmes écologiques, leur fonctionnement et leur dynamique ont été réalisés à d'autres échelles d'espace et de temps. Concernant la végétation, la phénologie de pratiquement toutes les espèces de trois stations (sur vertisols, hardés et ferrugineux) a été suivie durant deux années sous pluies naturelles, et avec irrigation additionnelle pour les herbacées, afin de mettre en relation cycle de vie des espèces et évolution des conditions climatiques et hydriques des sols. Par ailleurs, l'évolution démographique de la communauté des herbacées en fonction du régime pluviométrique (avec expérimentation complémentaire par irrigation) a été également suivie durant les deux années sur les mêmes stations. Nous ne prétendons pas avoir pris en compte tous les composants de l'écosystème, mais d'une façon générale, on a toujours essayé pour chaque ligne de recherche d'avoir une approche globale qui a fait intervenir simultanément les spécialistes des disciplines suivantes : hydrologie, pédologie et phytoécologie. Cette méthode a permis le recueil d'un maximum d'informations et de données permettant ainsi d'affiner les interprétations et les modèles. Enfin, si la majeure partie des actions a été focalisée sur la région de MOUDA, le projet n'a pas hésité à intervenir de façon plus légère dans d'autres zones de la région soit pour valider certaines interprétations (dynamique et fonctionnement), soit tout simplement prendre en compte des études de fonctionnement d'autres systèmes écologiques intéressants mais absents de la zone de MOUDA.

3. LES RESULTATS

Une synthèse concernant les facteurs régionaux du milieu a été réalisée, permettant de resituer les actions du projet dans un cadre plus général.

3.1. Les systèmes écologiques du bassin versant de MOUDA

Sur le bassin versant de MOUDA (18,1 km²) a été réalisée au 1/21 000^{ème} la cartographie des systèmes écologiques. Cette cartographie a été conçue d'une part pour l'analyse et pour la résolution des problèmes de transfert d'échelle du ruissellement, et pour la globalisation des observations effectuées au niveau stationnel (régime hydrique, cycle de vie des espèces, recouvrement végétal, etc.), et d'autre part pour évaluer les ressources naturelles en vue de leur gestion. L'unité de cartographie est le système écologique. Ceux-ci, au nombre de 15, sont

répartis sur trois secteurs. Chaque système écologique est défini en termes de (i) sol en insistant sur les caractéristiques hydrodynamiques et sur les caractères évolutifs (érosion), (ii) végétation (physionomie, espèces dominantes, indicateurs de dégradation, état du couvert et (iii) utilisation des terres. Par ailleurs, cette méthode de caractérisation globale du milieu a été le départ d'une réflexion sur les aspects dynamiques concernant la dégradation des sols et de la végétation. Ainsi, si les secteurs sur sols fersialitiques et sols ferrugineux, malgré certains indices de dégradation de la végétation (augmentation des épineux et diminution des graminées perennes, de la biomasse et de la diversité floristique) peuvent retrouver un potentiel et une physionomie comparables à ceux des réserves forestières de la région, il apparaît que sur les glacis vertisoliques, certaines zones fortement dégradées (hardé) aient dépassé des seuils d'irréversibilité, tant sur le plan des caractéristiques physiohydriques que celui des aspects floristiques.

3.2. Cycle de vie des espèces végétales. Partage de la ressource hydrique du sol

Face aux perturbations intenses (climatiques et anthropiques) que subit la végétation, différentes réponses ont été mises en évidence par l'analyse phénologique. Certaines espèces gardent leurs feuilles toute l'année (*Balanites aegyptiaca*, *Piliostigma sp*) ; d'autres les perdent complètement en saison sèche. De même la plupart des espèces effectuent leur cycle reproductif en saison des pluies, ou au moins l'amorcent ; d'autres moins nombreuses (*Sclérocarya birrea*, *Accacia seyal*, *Accacia kockii*, *Dombeya quinqueseta*) l'effectuent en saison sèche, toute l'eau absorbée pendant les pluies étant alors utilisée pour la photosynthèse et/ou l'acquisition de réserves. La végétation herbacée est considérablement appauvrie et se limite à une dominance exclusive d'annuelles, conséquence du surpâturage et de la mise en culture qui excluent les herbacées perennes. Ligneux et herbacées sont en compétition pour la ressource hydrique durant une bonne partie de la saison des pluies puisque la partie superficielle du système racinaire des ligneux exploite la même profondeur de sol que celle des graminées annuelles, qui est de 20 à 25 cm sur les "hardés", 40 cm sur les vertisols et les ferrugineux. Une analyse statistique de la démographie, en cours, donnera une idée sur la dynamique d'installation des herbacées.

En conclusion, si les ligneux arrivent à être globalement actifs toute l'année les herbacées limitent leur activité à la saison des pluies et légèrement au-delà. Quelques rares herbacées perennes peuvent démarrer très tôt en saison des pluies et présenter une repousse végétative en début de saison sèche, après passage du feu.

3.3. Ruissellement et érosion - Sensibilité des milieux à l'érosion hydrique

A partir des données recueillies, ont été étudiés les facteurs explicatifs du ruissellement et de l'érosion sur quelques sols du Nord-Cameroun, à trois niveaux d'échelle spatiale et deux niveaux d'échelle temporelle.

Des fonctions de production du ruissellement ont été établies en saison sèche, à partir des données obtenues sous pluie simulée sur sept sites des principaux systèmes écologiques. Les paramètres retenus comme explicatifs de la lame ruisselée sont : la hauteur de pluie précipitée (Hp), un indice des précipitations antérieures (IK) du type indice de KOHLER, caractérisant l'état d'humectation du sol et un indice de recouvrement au sol par la végétation. Chaque fonction de production faisant intervenir un ou plusieurs de ces facteurs.

Le suivi de trois sites pendant une saison des pluies, a permis de valider les résultats de la simulation de pluie et en particulier, nous avons pu montrer que l'état physiologique de la végétation, l'activité mésofaunique, etc. liés au facteur saisonnier n'avaient une influence qu'en fin de saison des pluies, à un moment où le taux de recouvrement moyen au sol par les herbacées est de l'ordre de 30 %.

Le transfert de ces résultats à l'échelle du micro bassin de quelques 10^3 de m^2 , et au bassin versant (X km^2) a été réalisé grâce à la détermination des aires de chaque systèmes écologiques sur lesquels les coefficients de ruissellement varient de 75 % sur les sols hardés, à 2 ou 3 % sur les sols fersialitiques de collines.

Dans l'ensemble, les deux bassins étudiés présentent des aptitudes importantes au ruissellement, les termes du bilan hydrologique annuel faisant apparaître des coefficients du ruissellement de l'ordre de 50 % sur le micro bassin et de 25 % sur le grand bassin.

Du point de vue de l'érosion, les tests pratiqués sur parcelles élémentaires, sous pluie simulée ont mis en évidence le rôle prépondérant du couvert et du travail du sol. La sensibilité à l'érosion hydrique d'un sol ferrugineux cultivé étant multipliée par 15, par rapport au même sol couvert d'une jachère de 2 à 3 ans.

Les mesures sur bassins ont permis de quantifier l'érosion, qui est de l'ordre de 11 à 17 tonnes/ha/an sur le micro bassin pour les deux années d'études, et de 5,2 tonnes/ha/an sur le bassin représentatif. L'observation d'un événement pluvieux de récurrence décennale au cours de la saison 1985 traduit la brutalité du phénomène érosif, cette averse ayant provoqué 25 % de l'érosion annuelle sur le micro bassin, et 17 % sur le bassin représentatif.

Enfin, quatre systèmes écologiques HV1, HN1, HD1 et VM2 ont été étudiés en conditions naturelles pendant deux ans et sur micro parcelles ($1 m^2$). Des modèles de corrélations multiples par palier successif ont encore montré l'importance de H_p et de IK pour l'explication de la lame ruisselée, en particulier pour l'ensemble des sols et pendant toute la saison des pluies un modèle peut être proposé :

$$LR = 0,397 H_p + 0,206 IK - 5,885 \quad r^2 = 0,912$$

Concernant l'érosivité de ces systèmes, les différences proposées par les modèles de corrélation font surtout intervenir LR qui n'explique que 35 % de la variance en moyenne et 60 à 70 % dans les meilleurs cas.

3.4. Conservation des sols et maîtrise de l'eau - Réflexions sur l'aménagement

La recherche a montré l'intérêt en zone montagnarde de l'aménagement en terrasses, mais a surtout mis l'accent sur les conséquences des cycles d'abandon alternant avec des remises en état et de la pratique de la jachère. Dans tous les cas, la culture même avec des murettes en bon état augmente l'érosion. L'abandon avec jachère est le traitement qui perd le moins d'eau et le moins de terre, malgré l'absence d'entretien des murettes. L'érosivité du millimètre ruisselé est 2,5 fois plus forte sur les terrasses cultivées que sur les jachères ($0,5 \text{ kg.mm}^{-1}$ pour $0,2 \text{ kg.mm}^{-1}$ pour une parcelle de $100 m^2$). La culture sur les terrasses augmente les pertes en eau de 32 %, si on la compare aux terrasses laissées en jachère.

En plaine et sur les glacis des séquences vertisoliques, on a montré que le cloisonnement des champs par des diguettes délimitant des petits casiers de 50 à 200 m² augmentait de 40 % le coefficient d'efficacité de la pluie dans la recharge des réserves.

L'ensemble de la recherche a montré que la diversité des systèmes écologiques et surtout édaphiques induisait une répartition spatiale de l'aridité (édaphique) autre que celle d'origine climatique. Cette diversité loin d'être un désavantage en zone aride doit être utilisée pour adapter et localiser au mieux des aménagements basés sur la maîtrise des eaux de surface qui semble être la voie la moins étroite pour intensifier les productions.

4. CONCLUSIONS ET COMMENTAIRES ADDITIONNELS

Malgré certaines difficultés, on peut considérer que les principaux objectifs du projet ont été atteints. Parmi les principales défaillances, on peut citer le recrutement tardif du phytoécologue camerounais, et le report à une date ultérieure du séminaire de présentation et de vulgarisation des résultats du projet. La fin du projet ne marque pas la fin de la recherche initiée ou renforcée ; certaines lignes nécessitent encore une ou deux années d'observations. Actuellement, certains membres du projet approfondissent la réflexion et l'analyse des résultats (2 thèses en cours). Un des acquis importants du projet est aussi celui qui consiste à avoir mobilisé et formé une équipe pluridisciplinaire initiée à l'approche globale de l'analyse du milieu naturel en vue du développement rural.

Il faut songer à la continuation de certaines lignes de recherches et à l'ouverture de nouveaux programmes pour les années à venir. Il serait dommage de ne pas utiliser et valoriser les acquis importants de l'actuel projet concernant principalement une bonne connaissance des sols et de la végétation en ce qui concerne leur fonctionnement en liaison avec la pluviosité de l'année.

Les programmes devraient s'orienter vers une restauration des terres marginales et, en particulier des hardés dont certains ne sont pas encore trop dégradés.

Une demande d'aide à la CCE vient d'être déposée à la CEE sous le titre, "Réhabilitation et utilisation des terres marginales du Nord-Cameroun".

Il existe en effet de très grandes surfaces qui sont cultivées sporadiquement en raison des faibles rendements et de l'irrégularité de la production. Le prochain programme devrait s'appliquer à étudier et à réaliser des techniques de conservation des eaux et du sol qui permettent à la culture de terminer chaque année son cycle végétatif dans de bonnes conditions et de limiter l'érosion. Par ailleurs, il conviendrait de trouver des critères de délimitation pour celles d'entre elles qui, moyennant certains aménagements peuvent revenir à un bon pâturage.

Il ne s'agit donc, ni de chercher à améliorer les sols de cultures qui produisent déjà régulièrement, ni de chercher à réhabiliter des terres pratiquement incultivables ou nécessitant de gros frais pour cette réhabilitation. Ce sont les terres situées entre les deux extrêmes qui devraient être concernées et pour lesquelles les acquis du programme actuel seraient les mieux valorisés.

LISTE DES PUBLICATIONS

ALBERGEL J., THEBE B. (1986) - Pluie naturelle, pluie simulée. Quelle différence sur le ruissellement. Gouttes et splash Vol. 3 n° 1 ORSTOM ABIDJAN.

FLORET Ch. (1986) - Compte rendu de mission auprès projet CEE n° TSD/A/216 CAM 06/08 au 21/08/86. 14 p.

FLORET Ch., LE HOUEROU HN. et PONTANIER R. (1987) - Risque climatique et aménagement. Comparaison pour les zones arides au Nord et au Sud du Sahara. Communication invitée à la conférence internationale MEDECOS V. MONTPELLIER 15, 21/07/86.

FLORET Ch., PONTANIER R. (1986) - Compte rendu de mission auprès projet CEE n° TSD/A/216 CAM 08/01 au 06/02/86. 17 p. + annexes.

FLORET Ch., PONTANIER R. (1987) - Compte rendu de mission auprès projet CEE n° TSD/A/216 CAM 05/02 au 19/02/87. 32 p.

FLORET Ch., PONTANIER R. (1987) - Compte rendu de mission auprès projet CEE n° TSD/A/216 CAM 16/08 au 11/09/87. 33 p.

PONTANIER R., MOUKOURI KUOH, SAYOL R. et THEBE B. (1985) - Apport de l'infiltromètre à aspersion pour l'évaluation des ressources en sol des zones soudano-sahéliennes du Cameroun. Journées hydrologiques de l'ORSTOM MONTPELLIER. ORSTOM PARIS, pp. 165 à 189.

THEBE B., AYANGMA A., SEYNI BOUKAR L., SIGHOMNOU D. (1985) - Bassins versants de MOUDA. Rapport hydrologique. MESRES. IRGM. IRA. YAOUNDE. Multigr, 32 p.

THEBE B., SEYNI-BOUKAR L., ABEGA R., DJOKO-PAWA A. et MAINAM F. (1986) - Les bassins versants de MOUDA. Rapport hydrologique. Campagne 1986. MESRES/IRGM/IRA. YAOUNDE Multigr. 44 p. + annexes.

THEBE B. (1987) - Hydrodynamique de quelques sols du Nord Cameroun, bassin versant de MOUDA. Contribution à l'étude des transferts d'échelle. Thèse USTL MONTPELLIER, 306 p.

PUBLICATIONS EN COURS

DONFACK P. (1988) - Carte des systèmes écologiques du bassin versant de MOUDA. IRA/CNS YAOUNDE.

JOHNSON J., PONTANIER R., SEYNI-BOUKAR L. (1988) - Les facteurs conditionnels du ruissellement et de l'érosion sur micro parcelle (1 m²) IRA/CNS/ORSTOM.

MAINAM F., TCHEUFFA P. (1988) - Rapport de campagne 1986-1987. Parcelles de Mouhour. IRA/CNS YAOUNDE.

SEGHIERI J. - Dynamique saisonnière de la végétation en relation avec le régime hydrique dans les savanes soudano-sahéliennes du Nord-Cameroun. Thèse en prépartition USTL MONTPELLIER (encadrement FLORET-PONTANIER).

SEYNI-BOUKAR L. (1988) - Carte pédologique du bassin versant de MOUDA IRA/CNS YAOUNDE.

SEYNI-BOUKAR L. (1988) - Dynamique de l'eau du sol de quelques systèmes écologiques du Nord Cameroun. Application à l'aménagement. Thèse en préparation à l'université de YAOUNDE (encadrement FLORET-PONTANIER) soutenance fin 88-début 1989.

*Office d'Édition de la
Recherche Scientifique et
Coopération Internationale*



REPROGRAPHIE INDUSTRIELLE
EDITIONS - DUPLICATIONS -

MINIPARC N° 7 - ZOLAD - 34100 MONTPELLIER
67.52.20.05