

Centre d'Adiopodoumé
Laboratoire de Pédologie

**PÉDOGENÈSE ACTUELLE D'UN SOL FERRUGINEUX ISSU DE GRANITE
SOUS UNE SAVANE ARBORÉE DU PLATEAU MOSSI (HAUTE-VOLTA)**

GONSE ; campagnes 1968 à 1974

par

Eric J. ROOSE

Maître Principal de Recherche en Pédologie à l'O.R.S.T.O.M.

Avec la collaboration technique de :

- J. GALABERT, E. MILLOGO et H. POUSGA du C.T.F.T.,
- P. HENRY des TUREAUX, H. DIALLO, J. SAGOU et M. KOUAME
de l'O.R.S.T.O.M.

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

**Centre d'Adiopodoumé
Laboratoire de Pédologie**

**PÉDOGENÈSE ACTUELLE D'UN SOL FERRUGINEUX ISSU DE GRANITE
SOUS UNE SAVANE ARBORÉE DU PLATEAU MOSSI (HAUTE-VOLTA)**

GONSE ; campagnes 1968 à 1974

par

Eric J. ROOSE

Maître Principal de Recherche en Pédologie à l'O.R.S.T.O.M.

Avec la collaboration technique de :

- J. GALABERT, E. MILLOGO et H. POUSGA du C.T.F.T.,
- P. HENRY des TUREAUX, H. DIALLO, J. SAGOU et M. KOUAME
de l'O.R.S.T.O.M.

Copyright O.R.S.T.O.M.

B.P. V 51 ABIDJAN
CÔTE D'IVOIRE

Octobre, 1977

- PLAN -

Introduction

Chap. 1. Le milieu et les méthodes d'étude 5

- 1.1 Situation, climat, végétation
- 1.2 Le sol et la toposéquence
- 1.3 Le dispositif expérimental.

Chap. 2. Les résultats concernant l'érosion 19

- 2.1 Les précipitations
 - 211 Déroulement des campagnes
 - 212 Hauteur des précipitations
 - 213 Intensité "
 - 214 Indice d'agressivité climatique
- 2.2 Le ruissellement
- 2.3 L'érosion mécanique
- 2.4 Conclusions.

Chap. 3. Essai de bilan hydrique 41

- 3.1 Les données d'observation
 - 311 Pluie
 - 312 Ruissellement
 - 313 Drainage oblique
 - 314 Drainage vertical
 - 315 Evolution du stock d'humidité du sol
 - 316 Evapo transpiration potentielle
 - 317 Bilans hydriques mensuels et annuels d'après les observations de terrain
- 3.2 Schéma de bilans hydriques moyen et extrêmes
- 3.3 Conclusions.

Chap. 4. Schéma de bilan géochimique 61

- 4.1 Eléments du bilan
 - 411 Apports par les précipitations
 - 412 Remontées biologiques
 - 413 Résultats analytiques des eaux de ruissellement et drainage
 - T°, pH, résistivité
 - bases
 - matières organiques
 - phosphore, silice, alumine, et fer
 - chlorures et sulfates
 - 414 Pertes en solubles dans le drainage
 - 415 Pertes par érosion et ruissellement
 - 416 Immobilisation dans les végétaux
 - 417 Stockage dans le sol
 - 418 Cycles internes : litière et remontée par les termites
- 4.2 Schéma de bilan géochimique sous savane
- 4.3 Conclusions

Chap. 5. Migrations solides et pédogénèse 89

- 5.1 Erosion sélective en nappe
- 5.2 Activité des termites sous la savane
- 5.3 Lessivage oblique et vertical
- 5.4 Importance et vitesse de l'appauvrissement
- 5.5 Conclusions

Chap. 6. Conclusions générales 105

- 6.1 Résumé des résultats
- 6.2 Pédogénèse actuelle
- 6.3 Essais d'interprétation du profil
- 6.4 Conclusions pratiques

INTRODUCTION

Dès 1964, l'O.R.S.T.O.M a débuté en COTE d'IVOIRE un programme de recherches sur la dynamique actuelle des sols tropicaux sous végétation naturelle ou cultivée, recherches qui se sont étendues progressivement à huit stations situées entre ABIDJAN et OUAGADOUGOU grâce à la collaboration des instituts du GERDAT. Diverses techniques de terrain ont été mises au point en vue de mesurer sur des parcelles de quelques centaines de mètres carrés les précipitations, le ruissellement, le drainage vertical et oblique, les charges solubles et solides qu'elles transportent ainsi que les remontées biologiques.

Dans ce cadre, il a paru intéressant de comparer les résultats obtenus sur les six stations établies en milieu ferrallitique ivoirien à ceux de mesures semblables effectuées sur des sols ferrugineux du plateau MOSSI à proximité du SAHEL. Une première station de mesure a été installée en 1968 dans la forêt classée de GONSE, 30 kilomètres à l'est de OUAGADOUGOU, non loin des points d'appuis du Centre Technique Forestier Tropical de GONSE où BIROT et GALABERT effectuaient des mesures de bilan hydrique sous plantation d'EUCALYPTUS et de Gampela où ils comparaient les phénomènes d'érosion sous divers types d'exploitation agricole. Une seconde station fut établie en 1971 au Centre de Recherche Agronomique de SARIA avec la collaboration de l'IRAT sur des sols ferrugineux à cuirasse proche de la surface.

Dès l'origine, le CTFT a soutenu ce programme en assurant les manipulations sur le terrain et le transport des échantillons. De son côté l'O.R.S.T.O.M s'est chargé de la mise en place des dispositifs, des nombreuses analyses, d'une partie des manipulations sur le terrain et de l'interprétation des résultats.

Une partie des résultats a déjà fait l'objet d'un premier rapport couvrant les campagnes 1968 et 69 (ROOSE, BIROT : 1970), et d'un document concernant l'activité des termites (ROOSE : 1976). Dans ce rapport de synthèses les données principales seront regroupées et discutées brièvement avant de tirer les conclusions sur les bilans hydriques, chimiques et colloïdaux observés sous ces savanes sahélo-soudaniennes à épineux.

RESUME

L'auteur présente la synthèse de sept années d'observations sur les transports de matières par les précipitations, l'érosion, le drainage et les remontées biologiques sous une savane arborescente soudano-sahélienne de la région centre HAUTE-VOLTA. Les résultats en milieu naturel sont en relation étroite avec l'époque des feux de brousse ; ils sont comparés avec ceux qui sont disponibles en milieu cultivé et en zone forestière subéquatoriale. Il constate que dans cette zone tropicale sèche, le pouvoir évaporant de l'air reste élevé toute l'année et que sur ce type de sol ferrugineux tropical "lessivé" hydromorphe, la perméabilité et la stabilité de la structure sont mauvaises de telle sorte que le ruissellement est très élevé : le drainage et les échanges avec les horizons profonds sont donc réduits. L'appauvrissement en particules fines observé généralement sur les horizons superficiels dans cette région, s'explique donc principalement par une érosion en nappe particulièrement sélective sur ces pentes médiocres et par le brassage continu de ces horizons par les termites, fourmis et autres agents d'homogénéisation.

SUMMARY

The author proposes the syntheses of 7 years experimentations about substances transfer by rainfall, erosion, leaching and biological activity under a sahelo-soudanese bush savannah of the central plateau of UPPER-VOLTA. Under savannah, the results are strictly depending on the fire period : they are compared with available data under cropped conditions and in forest subequatorial area. It was observed that, in this dry tropical area potential, evapotranspiration rate remains high all the year long and that on this type of "leached", hydromorphous⁽⁺⁾ ferruginous soil, the permeability and the structural stability are so reduced that runoff is very high : thus, drainage and the exchange with deep horizons are light. The impoverishment of fine particles generally observed in the upper horizons of this area, is depending chiefly of sheet erosion very selective on these slight slopes and of continual mixing of upper horizons by termites and other homogeneisation agents.

(+) tropical

CHAPITRE 1. LE MILIEU ET LES METHODES

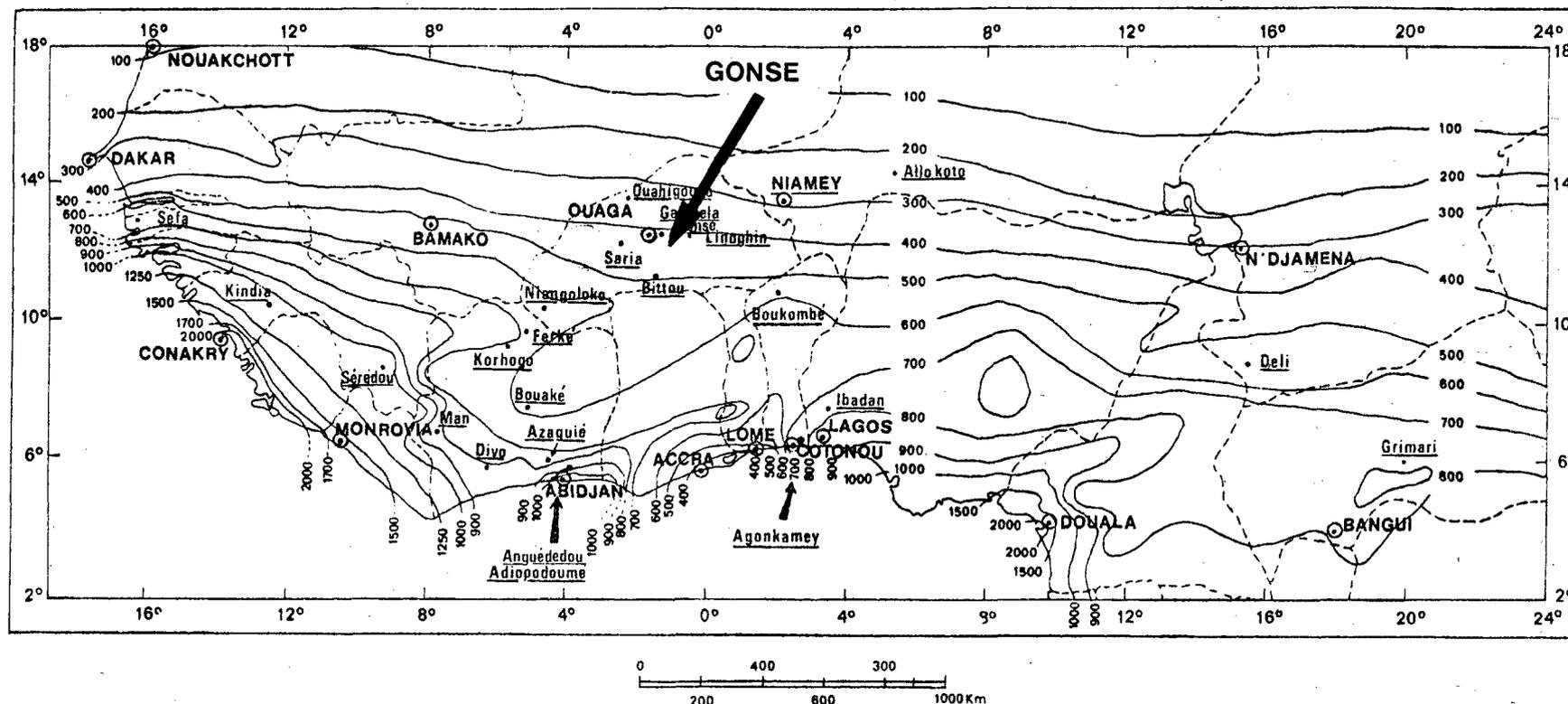
1.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE, CLIMAT, VEGETATION (fig.1= carte ; tabl.1= climat)

La forêt classée de GONSE est située à 12°22' de latitude nord, 01°19' de longitude ouest et à une altitude d'environ 300 mètres, non loin de la route OUAGA-NIAMEY. La végétation est une savane arborée à Butyrospermum Parkii, Parkia biglobosa, Combretum, épineux divers (Ziziphus, Acacia, etc...) ; elle est soumise à un feu précoce sauf sur la parcelle retenue, où le tapis graminéen (Andropogon gayanus et divers Pennisetum) évolue rapidement et profondément en fonction de la date des feux de brousse auxquels elle fut soumise. En fait, il existe toute une série d'associations végétales liées à la mosaïque de sols variant quant à leur profondeur, à l'importance de l'hydromorphie et à l'induration.

Le climat est qualifié de sahélo-soudanais par AUBREVILLE ou encore tropical sec à une saison des pluies. A OUAGADOUGOU, les précipitations annuelles sont très irrégulières autour d'une moyenne sur 30 ans de 860 mm (P.mini= 498mm et P.maxi= 1130mm) ; elles sont réparties sur quatre mois humides (juin = 116 ; juillet = 191 ; août = 264 ; septembre = 151 mm.), deux mois intermédiaires (mai = 81 mm ; octobre = 37 mm) et six mois pratiquement secs. La température annuelle moyenne (28,1°C) est nettement plus élevée qu'à ABIDJAN et les températures mensuelles passent par deux maxima (30 à 39°C en octobre et avril) et par deux minima en janvier et août (16 et 25°C). Au niveau du sol, les températures maxima moyennes dépassent 40°C durant 7 mois ; vers 60 cm de profondeur, elles atteignent 30°C pendant toute l'année sauf janvier. L'humidité relative mensuelle est inférieure à 50 % durant les 6 mois secs et peut descendre à moins de 20 %. L'évapotranspiration potentielle (ETP TURC) s'élève à 1905 mm : elle dépasse les précipitations pendant 9 mois de l'année pendant lesquels le déficit s'élève à 1230 mm. L'ETP peut dépasser 7 mm par jour en fin de saison sèche ; elle atteint encore en moyenne 3,7mm/jour en août. Les sols sont donc très vite ressuyés après une averse étant donnée la température élevée et le fort pouvoir évaporant de l'air même au coeur de la saison des pluies.

(voir résumé des données climatiques = tableau 1)

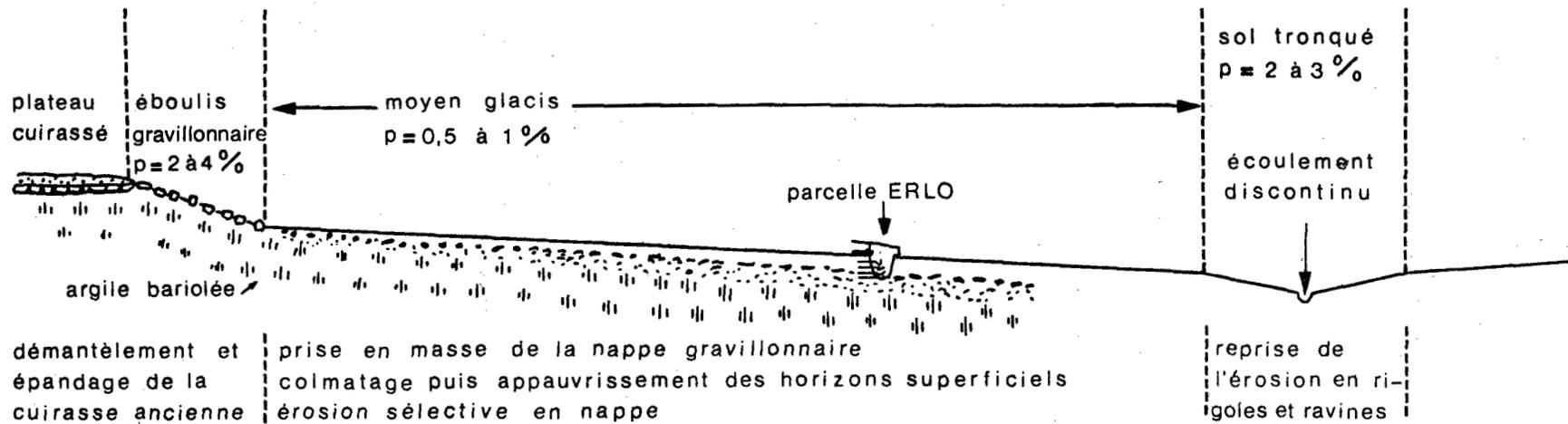
Fig. 1.1 - ESQUISSE DE LA RÉPARTITION DE L'INDICE D'AGRESSIVITÉ CLIMATIQUE ANNUEL MOYEN (Rusa de Wischmeier) EN AFRIQUE DE L'OUEST DU CENTRE
Situation des parcelles d'érosion.



D'après les données pluviométriques rassemblées par le Service Hydrologique de l'ORSTOM et arrêtées en 1975.

Dressée par ROOSE (E.J)
Maître de Recherche en Pédologie - ORSTOM - B.P 20 Abidjan

Fig. 1.2 - SCHÉMA DE LA TOPOSÉQUENCE DE LA PARCELLE ERLO A LA STATION C.T.F.T. DE LA FORÊT DE GONSE PRES DE OUAGADOUGOU (HAUTE-VOLTA)



SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX "LESSIVES ATACHES ET CONCRETIONS"

- ± APPAUVRIS EN SURFACE
- ± HYDROMORPHES EN PROFONDEUR

LOCALEMENT SOL GRAVILLONNAIRE OU HYDROMORPHE (± HALOMORPHE)
JUSQU'EN SURFACE

Fig. 1.3 - PLUVIOSITÉ NORMALE (ASECNA), TEMPÉRATURE ET ETP (TURC) (1953-1969)
Moyennes mensuelles (ASECNA)

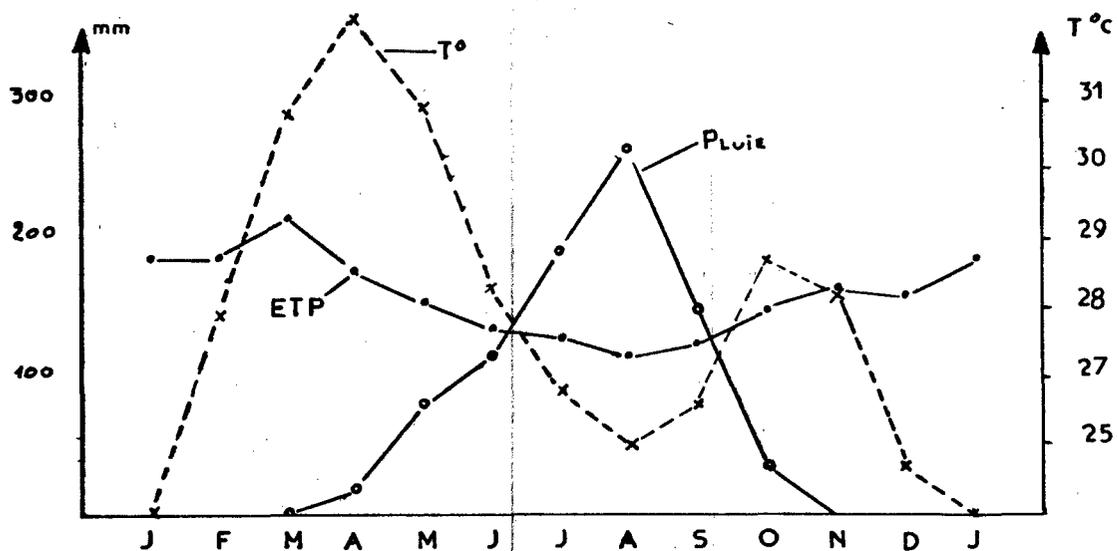


Fig. 1.4 - DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE : OUAGADOUGOU (HAUTE-VOLTA)
SELON P. BIROT (Pluie = 4 x T° C)

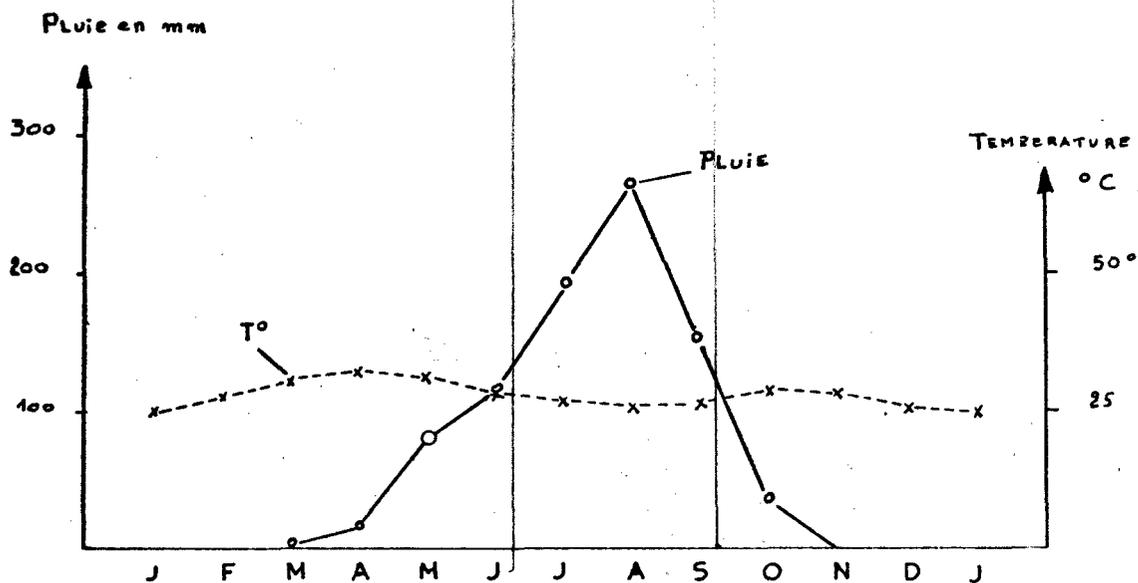


TABLEAU 11 - Données climatiques de la région de OUAGADOUGOU
(Tiré de ASECNA)

1	Pluie (mm)	Jours de pluie	Evapo-	Déficit (2 ^o - 4)	Température sous abri			Insola- tion (heures)	Pluviosi- té jour- nalière max.
	Moyenne (mm)		transpi- ration poten- tielle (TURC) (mm)		max.	min.	moyen		
Janvier	0	0	187	+187	34,3	16,5	25,0	281	0
Février	0	0	188	+188	35,7	19,2	27,9	244	24
Mars	1	1	216	+215	38,6	22,9	30,8	266	23
Avril	19	3	178	+159	39,1	25,7	32,2	230	30
Mai	81	8	155	+ 74	37,0	25,1	30,9	259	120
Juin	116	10	136	+ 20	33,8	23,1	28,3	226	57
Juillet	191	13	129	- 62	31,6	22,4	26,8	210	94
Août	264	18	116	-148	30,3	21,5	26,0	177	93
Septembre	151	15	126	- 25	31,8	21,6	26,6	206	110
Octobre	37	4	149	+112	35,7	22,2	28,7	269	54
Novembre	0	1	165	+165	36,7	20,3	28,2	273	11
Décembre	0	0	160	+160	34,3	17,1	25,7	262	10
TOTAL	860	73	1905	+1280 -235					
Moyenne							28,1	242	

Toutes les données de ce tableau sont des moyennes sur plus de 15 ans

FICHE ANALYTIQUE

Tableau 1,2

PROFIL											
CONSE											
RO IV	Horizon	9								HRZ	
	Groupe	13								GR	
	Sous-groupe	17								SG	
	(Pente)	21								FM	
	(Série)	25								SR	
	(Région)	29								RG	
	Numéro du sac	33	1	2	3	4	5	6	7	8	SAC
	Profondeur minimale en cm	37	0	20	40	90	120	150	160	200	PMI
	Profondeur maximale	41	10	30	60	100	130	160	170	210	PMA
Granulométrie en 10 ⁻²	Refus	45	0	0	0	0	0	6,7	13,2	66,6	REF
	Carbonate de calcium	49									CDC
	Argile	53	7,7	14,1	41,0	40,1	38,8	40,3	40,5	39,3	ARG
	Limon fin 2 à 20 p	57	5,4	5,6	4,3	5,4	6,5	7,7	7,8	5,5	LMF
	Limon grossier 20 à 50 p	61	8,6	7,4	7,5	7,0	6,3	8,2	4,5	4,1	LMG
	Sable fin 50 à 200 p	65	37,2	35,2	22,7	21,4	20,3	21,5	22,9	15,7	SBF
	Sable grossier	69	38,3	36,8	23,2	23,1	29,0	23,0	24,0	33,4	SEG
	SP/SG	73	0,196	0,196	0,198	0,185	0,170	0,193	0,195	0,17	CARTE
Matières organiques en 10 ⁻³	Carbone	13	4,66	4,02	2,38	1,18					C
	Azote	17	0,30	0,28	0,23	0,15					N
	Acides humiques	21	0,81	0,61							AH
	Acides humiques bruns	25									AHB
	Acides humiques gris	29									AHG
	Acides fulviques	33	0,23	0,38							AF
Acidité	pH eau 1/2,5	37	6,8	6,3	5,9	6,3	6,9	7,0	7,3	7,2	PHE
	pH chlorure de potassium	41									PHK
Cations échangeables en mé	Calcium Ca ⁺⁺	45	1,81	1,38	3,18	5,65	4,78	6,63	7,93	5,33	CAE
	Magnésium Mg ⁺⁺	49	0,95	0,94	1,85	2,77	2,47	3,08	3,60	2,50	MGE
	Potassium K ⁺	53	0,10	0,04	0,12	0,29	0,25	0,30	0,36	0,32	KE
	Sodium Na ⁺	57	0,02	0,03	0,03	0,08	0,06	0,08	0,08	0,08	NAE
	Capacité d'échange	61	3,20	4,57	6,84	8,89	8,04	9,28	10,18	7,43	T
Acide phosphorique en 10 ⁻³	Phosphore total	65	0,14	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,27	PT
	Phosphore assim. Trueg	69									PAT
	Phosphore assim. Olsen	73	2	2	2	2	2	2	2	2	CARTE
Éléments totaux (triacide) en 10 ⁻²	Phosphore ass. citrique	13									PAO
	Porte au feu	17									PAC
	Résidu	21	1,53	2,52	5,10	4,95	5,63	6,06	5,86	7,39	PRT
	Silice SiO ₂	25	89,59	83,08	57,57	58,55	54,28	51,83	51,99	40,72	RSD
	Alumine Al ₂ O ₃	29	3,53	6,68	17,60	17,34	18,63	20,92	20,65	22,14	SI
	Fer Fe ₂ O ₃	33	2,96	4,93	13,41	13,31	13,53	14,36	14,08	17,07	AL
	Titane TiO ₂	37	1,15	1,65	3,15	3,30	4,95	4,45	4,30	10,20	FE
	Manganèse MnO ₂	41	0,54	0,72	0,86	0,78	0,76	0,86	0,94	0,96	TI
	Fer libre Fe ₂ O ₃	45	0,82	1,03	1,93	2,10	4,12	3,39	2,75	5,32	MN
	Calcium Ca ⁺⁺	49	0,82	1,03	1,93	2,10	4,12	3,39	2,75	5,32	FEL
	Magnésium Mg ⁺⁺	53	3,86	2,54	3,51	5,78	6,86	7,21	8,96	11,31	CA
Potassium K ⁺	57	3,72	3,62	6,52	7,64	10,72	10,98	11,42	4,78	MG	
Sodium Na ⁺	61	0,83	0,83	1,91	2,09	2,71	2,63	2,46	1,39	K	
	Porosité en 10 ⁻²	65	0,48	0,32	0,32	0,40	0,60	0,53	0,48	0,61	NA
Structure et caractéristiques hydriques	Porosité en 10 ⁻²	69									PAS
	pF 2	73	8,12	9,82	15,42	15,37	17,43	18,56	18,88	16,78	CARTE
	pF 2,5	13	6,66	8,72	15,30	14,91	16,26	18,54	18,50	14,50	PF2
	pF 3	17	5,33	8,15	14,45	14,38	15,29	18,19	17,66	14,28	PF3
	pF 4,2	21	2,27	4,54	10,86	11,09	11,80	12,93	12,55	10,86	PF4
	Instabilité structurale	25	2,43	3,22	1,94	5,44	7,22	7,76		5,05	IS
	F: 20% fibre / Argile	29	9,05	1,85	4,48	2,49	1,14	1,35	2,33	0,94	PM3
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	33									L
	SiO ₂ /R 20%	37	2,02	2,29	2,23	2,21	2,34	2,47	2,49	2,20	L
	S. Bases éch. me	41									SO4
	Taux de Saturation %	45	2,88	2,39	5,18	8,79	7,56	10,09	11,97	8,50	CO3
	Bases tot. me	49	90,0	52,2	75,7	98,8	94,0	>100	>100	>100	HCO
Mat. Orga. en 10 ³	53									CAS	
C/N	57	8,04	6,93	4,11	2,04					MGS	
Taux C. humifié %	61	15,3	14,4	10,1	7,7					KS	
Ac. fulv. / Ac. hm.	65	22,8	24,8	21,6						NAS	
	69	0,3	0,6							L10	
	73	4	6	1	1	4	4	4	4	CARTE	

1.2 LE SOL ET LA TOPOSEQUENCE

La toposéquence de GONSE (voir fig.1.2) a été étudiée en détail par LEPRUN ; nous nous contenterons de résumer la description du profil au niveau de la parcelle ERLO et de schématiser la toposéquence. Les résultats analytiques sont présentés en annexe (tabl.2 = analyses profil).

Le paysage granitique de GONSE est typique du plateau MOSSI : il est caractérisé par sa platitude et son mauvais drainage externe. Il se compose de buttes cuirassées de faible dénivelée par rapport à la plaine environnante, d'un court éboulis de cuirasse (pente 2 à 4 %) et d'un long glacis d'épandages gravillonnaires (pente 0,5 à 1 %). Ces derniers sont recouverts d'éléments plus fins sur lesquels s'est développée une mosaïque de sols ferrugineux tropicaux plus ou moins hydromorphes de sols gravillonnaires et de sols halomorphes avec des fentes de retrait se prolongeant jusque dans les termitières. Le lit mineur du marigot à écoulement temporaire est encaissé et entouré d'une bande de sols ocres jaunes très érodés reliés à la plaine par une rupture de pente (2-3 %). Actuellement l'érosion se manifeste très vigoureusement près du marigot (ravinement) et de façon plus discrète tout au long du glacis (érosion sélective en nappe, déterrage des touffes de graminées, épandage de sables blancs, glaçage du sol entre les touffes de végétation).

C'est sur le glacis (pente de 0,5 %) que sont installés les dispositifs de mesure de l'érosion, du drainage oblique, du drainage vertical et de l'activité des termites.

La surface du sol présente une succession de nombreuses petites buttes grises ne dépassant guère 50 cm de haut (termitières de TRINERVITERMES) et de touffes d'herbes entre lesquelles s'étalent des plages de sol nu recouvert de feuillets de sédiments sableux plus ou moins grossiers formant une pellicule de battance finement litée et complètement colmatée.

Sous cette croûte à structure lamellaire se développe un mince horizon gris (E = 10 cm), légèrement humifère, sableux, massif avec quelques fentes de dessèchement (tous les 75 cm environ) colonisé par un abondant chevelu racinaire. Il est boueux à l'état humide et prend en masse en saison sèche.

Puis vient un horizon beige (10 à 30 cm) peu humifère, déjà moins sableux à structure massive avec fentes de retrait, fortement colonisé par les termites. On y trouve des grains de sable quartzeux très grossiers et quelques gravillons ferrugineux liés de vin avec patine, de diamètre voisin de 1 cm. Les racines de toutes tailles sont abondantes, La limite est tranchée (sur 1 cm).

De 30 à 75 cm apparaît un horizon ocre, argilo-sableux à structure polyédrique moyenne bien développée. L'horizon est friable, bien colonisé par les racines mais beaucoup moins par les termites : la porosité vésiculaire y est moins représentée. Vers le bas, présence de quelques taches ocre-rouge et de petits gravillons arrondis de 1 à 2 mm de \emptyset (= type "plomb de chasse").

On passe alors graduellement à un horizon argileux (75 à 165 cm) avec des taches de pseudogley de couleur brune et grise jusqu'à 115 cm puis ocre rouille sur fond gris avec des concrétions manganésifères et quelques gravillons ferrugineux. La structure polyédrique moyenne est bien développée. L'horizon est compact à l'état humide mais à l'état sec, il se débite facilement en petits polyèdres à tendance cubique. On trouve quelques recouvrements argileux sur les agrégats. Quelques fines racines pénètrent entre les agrégats et dans les galeries de termites mais on n'observe pas de grosses racines (engorgement ?).

La transition est brutale avec un horizon gravillonnaire gris foncé de 5 cm d'épaisseur reposant vers 170-180 cm sur une carapace formée de petits gravillons ferrugineux à peine soudés et de graviers de quartz usés emballés dans une matrice argileuse ocre en voie d'induration. L'ensemble est imperméable et soudé localement en une cuirasse.

A partir de 2,50 mètres, on trouve un matériau bigarré ocre, rouille et gris avec de nombreux gravillons arrondis, perméable et sillonné de canalicules. La roche pourrie apparaît vers 7 à 10 mètres de profondeur dans les puits. La roche saine est probablement enfouie beaucoup plus profondément sous la cuirasse. Il s'agit d'un granite baoulé (d'après la carte du B R G M) ; sur les rares pointements observés, nous avons noté une très forte variation de texture et de teneur en minéraux noirs de la roche. Il n'y a pas de nappe phréatique suffisamment proche de la surface que les habitants puissent exploiter avec succès.

D'après les résultats analytiques (tableau 1.2 en annexe), les teneurs en matières organiques sont très faibles dès la surface (0,8 %) et diminuent très progressivement en profondeur (0,2 % vers 1 m.). Le taux de carbone humifié n'atteint pas 25 % ; les acides humiques dominent en surface (80 %) mais la proportion d'acides fulviques augmente en profondeur (40 % dès 25 cm de profondeur). Les teneurs en azote sont médiocres dès la surface (0,3 à 0,15 % en profondeur). Le rapport C/N passe de 15 en surface à 10 vers 50 centimètres soulignant encore la carence azotée dans ces savanes brûlées chaque année. Les teneurs en phosphore total sont très constantes et très faibles (0,15 %) jusqu'à la cuirasse.

La capacité d'échange de bases augmente graduellement de 3 à 10 mé pour 100 grammes de terre fine au niveau du pse dogley. La C.E.C de la fraction argileuse passe de 42 mé/100 gr. dans l'horizon humifère à 21-25 mé/100 gr. dans le pseudogley : la kaolinite est donc certainement mélangée à une argile de type 2/1 (probablement illite). Ceci est confirmé par le rapport $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ qui augmente de 2,05 en surface à 2,4 dans le pseudogley pour redescendre à 2,1 sous la carapace. Le taux de saturation en bases est voisin de 100 % sauf entre 10 et 75 cm (52 et 75 %). Le pH (rapport sol/eau = 1/2,5) diminue de 6,8 en surface à 5,9 vers 50-75 cm puis augmente et dépasse légèrement la neutralité à partir de la carapace. La somme des bases échangeables de la terre fine croît progressivement de 2 mé/100 gr en surface à 11 mé/100 gr au-dessus de la carapace. Tout ceci indique une certaine lixiviation des bases des horizons beiges et ocres. Parmi les cations échangeables, le calcium (1,3 à 8 mé/100 gr) et le magnésium (1 à 3,6 mé/100 gr) sont les mieux représentés. Le sodium (0,02 à 0,08 mé/100 gr) et le potassium (0,04 à 0,4 mé/100 gr) sont peu abondants. Les réserves minérales en calcium sont faibles ; par contre, les réserves sont importantes en magnésium (Mg total triacide = 3 à 4 fois Mg éch.) en potassium (K total = 9 à 20 fois K éch.) et sodium (Na tot. = 5 à 10 fois Na éch.).

L'attaque triacide montre que les résidus quartzeux sont très abondants en surface (r 85 %) puis diminuent brutalement vers 40 cm (58 à 52 %). Inversement, la silice combinée passe brutalement de 3,5 - 6,7 % en surface à 17 - 21 % dès le 3er horizon (ocre) et l'alumine de 3 - 5 % en surface à 13 - 14 % dans l'horizon ocre pour dépasser 18 % sous la cuirasse. Les teneurs en titane sont assez constantes (0,8 à 0,9 %) dès 40 cm.

Le fer total atteint de 1,1 - 1,7 % Fe_2O_3 en surface puis augmente de 3,1 à 5 % dans les horizons argileux (jusqu'à 120 cm), diminue légèrement dans le pseudogley (4,4 - 4,3) puis passe à 10 - 12 % dans la terre fine récoltée sous la cuirasse. Le rapport fer libre/fer total est très constant (60 à 70 %) sauf dans le pseudogley (110 à 165 cm) où il atteint 83 et 76 % ; dans la terre fine sous la cuirasse, il reprend des valeurs de 50 à 60 %. Le rapport Fe_2O_3 libre/argile baisse de 11 en surface à 5 dans l'horizon ocre (BI) ; il passe ensuite brutalement à 10,6 au sommet du pse dogley (120 cm) et diminue progressivement jusqu'à 6,8 au-dessus de la cuirasse où il dépasse 13,5.

Les propriétés physiques sont assez défavorables au développement des végétaux. En effet, l'indice d'instabilité (IS de Hénin) est élevé dès la surface (2,43) : ce sol est donc très sensible à la battance des pluies et à l'érosion.

L'indice de perméabilité (K Hénin) sur échantillon tamisé est moyen : il baisse de 9 cm/heure en surface à 2 cm/heure vers 1 mètre de profondeur. La vitesse de filtration mesurée sur des monolithes cubiques de 10 cm de côté (Méthode de VERGIÈRE) est très faible : elle est de l'ordre de 1 à 10 cm/heure sur échantillons prélevés en saison sèche mais beaucoup plus faible (0,3 à 1,7 cm/heure) sur échantillons prélevés en saison humide. Les études de terrain ont également montré une très faible vitesse d'infiltration verticale de ce sol dès l'horizon beige (1P - 30 cm) : à cette faible perméabilité intrinsèque s'ajoute encore le colmatage superficiel au niveau de la pellicule de battance. Le densité apparente mesurée sur les mêmes blocs s'élève de 1,59 en surface à 1,74 - 1,80 dès l'horizon beige. Aussi la porosité totale est-elle très faible : 36 % en surface, 28 à 31 % dans les horizons beige et ocre, 14 à 28 % dans le pseudogley. Comme l'humidité à pF 3 (= microporosité) atteint 25 % (H volumique) dès le sommet de l'horizon ocre à 30 % dans le pseudogley, la macroporosité est très réduite dans l'horizon ocre et quasi nulle dans le pseudogley. De plus, la réserve hydrique à pF 2,5 - pF 4,2) est faible (4,5 à 6 % H pond.) et pratiquement constante tout au long du profil. (voir fig 6 : ROOSE BIROT, 1970). L'examen du profil racinaire montre que les racines sont presque toutes localisées en surface (30 cm) et que les rares racines d'arbre qui pénètrent au-delà de l'horizon ocre sont toutes tourmentées et tortueuses à force de chercher leur voie entre les agrégats et les gravillons. Ce sol apparaît donc comme un mauvais support physique pour les cultures : sensible à la battance, peu poreux, trop compact et vite engorgé en profondeur. Les recherches C T F T sur les techniques culturales à adopter pour les plantations forestières (BIROT et GALABERT, 1969) ont bien montré la nécessité d'aérer ces sols en profondeur tant pour l'alimentation hydrique que pour le développement harmonieux des racines.

L'analyse granulométrique semble mettre en évidence la superposition de trois matériaux distincts plus ou moins interpénétrés :

- 1) en surface (0 - 30 cm) un matériau pauvre en argile (7 à 14 %) et riche en sables (71 à 76 %) spécialement en sables fins (36 %) ; le rapport SF/SG = 0,96 ;
- 2) puis de 30 à 170 un matériau argileux (38 à 41 %) moins riche en sables (44 à 49 %) avec quelques concrétions en gravillons : le rapport SF/SG varie de 0,98 à 0,70 ;
- 3) enfin un matériau essentiellement gravillonnaire (67 %) dont la terre fine est nettement plus riche en sables grossiers ; le rapport SF/SG = 0,47 à 0,29.

Ces matériaux sont d'autant plus riches en sables fins (souvent liés à de mauvaises propriétés physiques) qu'on se rapproche de la surface du profil : 14 % de la terre fine de la carapace, 22 % dans les horizons tachetés, 36 % dans les horizons sableux superficiels.

Suivant la classification française (C.P.C.S, 1967) on peut ranger ce sol dans la classe des sols à sesquioxydes de fer, sous classe ferrugineux tropical, groupe lessivé à taches et concrétions, famille sur matériaux remaniés issus de granite série à pseudogley de profondeur. Il convient cependant de rappeler l'hétérogénéité latérale très développée de ces sols répartis en mosaïques de tâches de quelques dizaines à quelques centaines de m².

Suivant la 7ème approximation il pourrait être classé parmi les alfisols hydromorphes = aqualf. (AUBERT, TAVERNIER, 1972).

1.3. LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Il a été décrit en détail dans le premier rapport (ROOSE, BIROT : 1970) et publié (ROOSE, 1967 : ROOSE, des TUREAUX, 1970). Il comprend :

- Pluie : 1 pluviomètre standard (bague à 150 cm) et 1 pluviographe C E R F à augets à mouvement journalier.

- Erosion : 1 case ERLO * de 41,7 mètres de long et 6 mètres de large (S = 250 m²)

+ lessivage sur une pente de 0,4 % comprenant :

oblique

- d'une part une fosse de mesure de l'érosion munie de 2 puis 3 fûts de 200 litres partiteurs (stockage de 14,4 mm puis 245 mm en 1974) débordant dans 1 puis 2 puisards d'infiltration sous la cuirasse.

- d'autre part une fosse de mesure du drainage oblique comportant des gouttières disposées dans des fentes creusées vers 25-80-140-170 et 210 cm de profondeur, interceptant les eaux libres circulant obliquement sur un front de 2 mètres de large et les conduisant vers des bidons en plastique de 60 litres.

- Lessivage : trois cases de drainage vertical, monolithes de terre non remaniée de vertical 63 cm de diamètre et 40-60-110 cm de profondeur. La surface du sol fut égalisée puis laissée nue.

- Remontée par les termites : 3 parcelles de 240 m² et 5 parcelles de 400 m² aux alentours immédiats de la case ERLO.

* Le canal de réception du ruissellement a été moulé sur le sol lui-même d'abord en fibre de verre + résine, puis après 1970 en toile de fibre de verre + flintkote (goudron). L'ensemble des fosses est protégé par un toit de tôles.

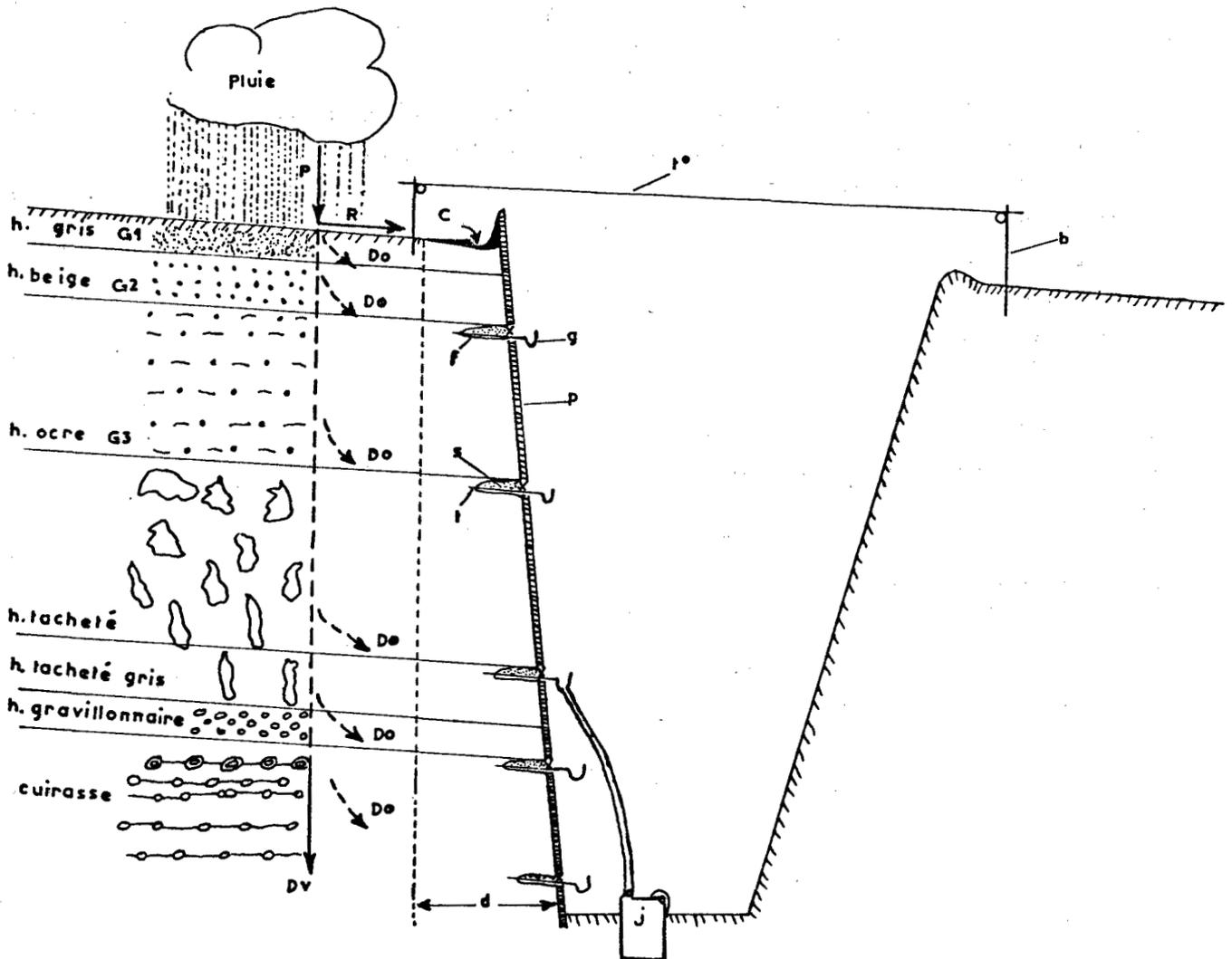
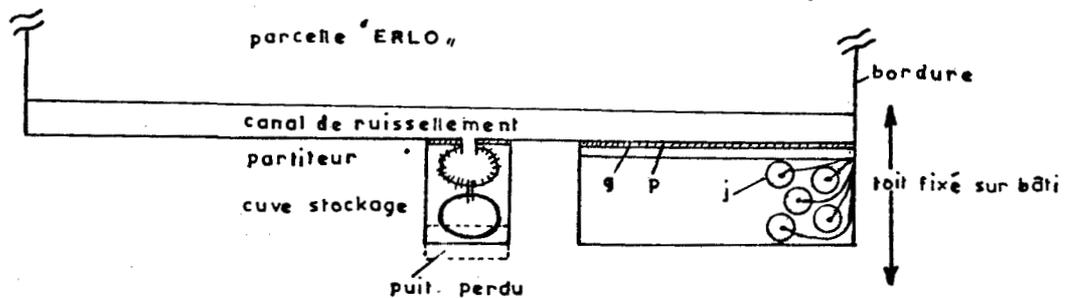


Fig. 1.5 - SCHEMA DES MOUVEMENTS DE L'EAU DE GRAVITE ET D'UNE CASE DE LESSIVAGE OBLIQUE

P=pluie ; R=ruissellement ; Dv= drainage vertical ; Do= drainage oblique
 G 1,2,3,4,5= horizons pédologiques ; C= canal de ruissellement ; G= gouttière
 T= toile ; F= fente ; S= sable lavé ; T= tranche de sol protégée par le canal c
 et le toit to ; B= bâti qui soutient le toit ; P= planche ; J= jerrican.

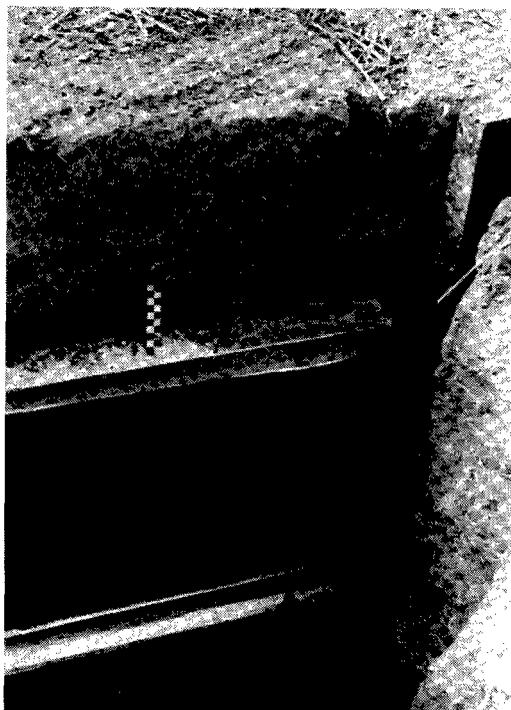


Après avoir prospecté dans la forêt classée de GONSE une chaîne de sols décrite par le C T F T (25 profils distants de 50 mètres), on a cherché un emplacement où chacun des horizons caractéristiques des sols ferrugineux tropicaux est bien développé (en particulier les horizons gris-beige-ocre) avec une hydro-morphie bien marquée (psendogley) mais pas trop proche de la surface (100 à 170 cm) et une surface vidurée offrant une discontinuité nette sur laquelle les écoulements obliques ont toutes les chances d'être importants.

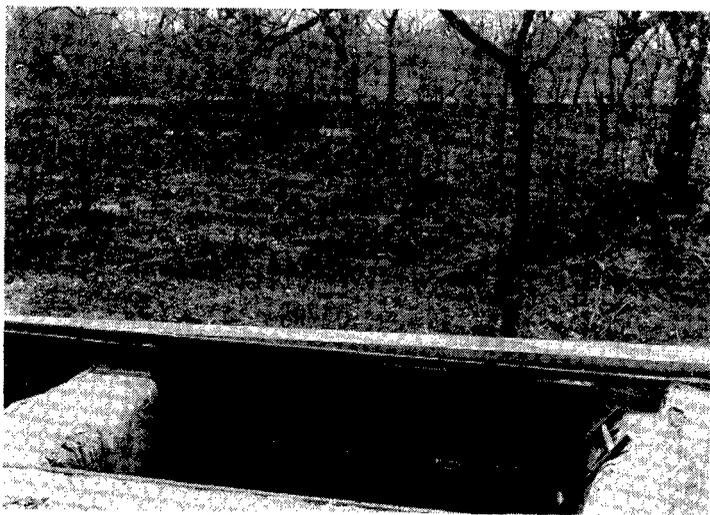
Après avoir délimité entre 2 fosses acceptables la parcelle ERL0, on s'est aperçu que les fosses de mesure étaient situées en bordure d'une tache où le psendogley est un peu plus riche en argiles gonflantes que dans les fosses témoins ce qui ne limite en rien la signification des mesures effectuées de 1968 à 1974. Cet emplacement présentait par ailleurs l'avantage d'une surveillance suffisante par le personnel du C T F T, habitant et travaillant sur place, ainsi que la proximité de OUAGADOUGOU d'où les échantillons pouvaient rejoindre les laboratoires de l'O.R.S.T.O.M à ABIDJAN par le train.



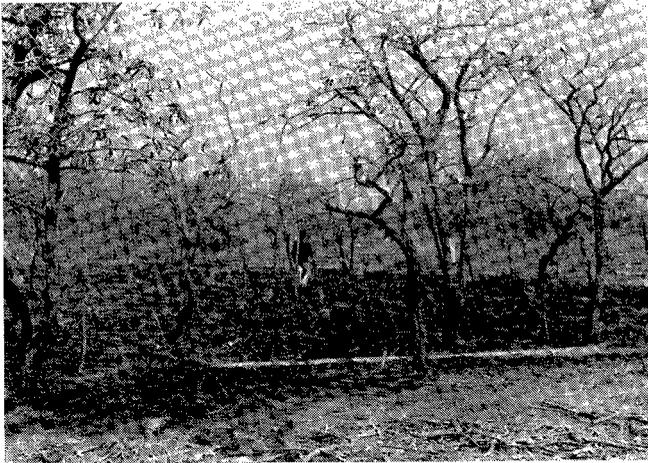
1. Case de drainage vertical



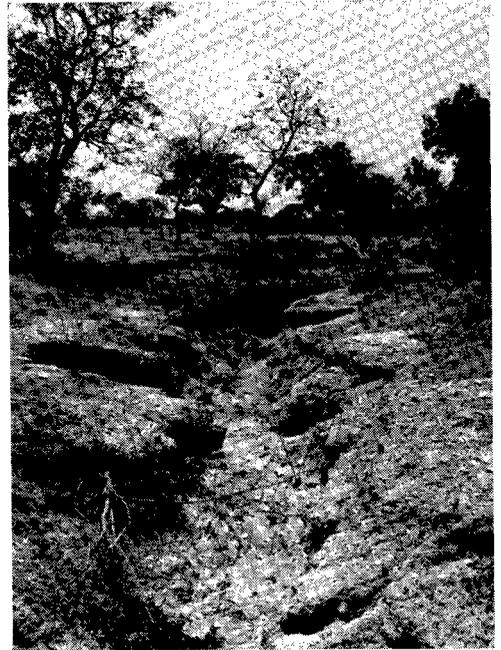
3. Détail de la case de lessivage oblique



2. Case de lessivage oblique



1. Savane arborescente brûlée



3. Ravine sur le plateau mossi

PLANCHE II

Le milieu



2. Termitière de *Trinervitermes*

CHAPITRE 2. LES RESULTATS CONCERNANT L'EROSION

Dans ce chapitre seront présentés et discutés succinctement les caractéristiques des précipitations, du ruissellement et du transport solide à la surface du sol.

2.1. LES PRECIPITATIONS A LA CASE ERLO DE GONSE.

Nous passerons brièvement en revue chaque campagne de mesure puis nous étudierons les hauteurs, les intensités des précipitations et leur agressivité^(RUSA)

21.1. Déroulement des campagnes.

La campagne 1968 (P = 810 mm) a été légèrement déficitaire par rapport à la normale (860 mm). La répartition des pluies est proche de la normale à part une période de sécheresse du 20/7 au 18/8. Une seule averse importante (P = 69,2mm) est tombée le 8 octobre sur un sol déjà dessèché.

Les décades les mieux arrosées sont situées mi-juillet (101 mm), fin août (123 mm) et début septembre (89 mm) sans qu'il y ait de séries d'averses particulièrement intéressante.

La campagne 1969 (P = 759 mm) fut déjà plus largement déficitaire (-100mm) surtout en juillet. La répartition des pluies est voisine de la normale sauf que la saison des pluies s'arrête brutalement le 28 septembre. Trois pluies dépassent 40 mm : 49,9mm le 17/7/69, 42,7 mm 14/8/69 et 54,2 mm le 31/8/69. Les décades les plus arrosées furent mi-juillet (88 mm), début et fin août (91 et 111 mm) sans qu'il y ait de succession de pluie particulièrement intéressante.

La campagne 1970 (P = 799 mm) fut légèrement déficitaire (60 mm) surtout en juin et août par contre mai et juillet furent bien arrosés. Quatre pluies intéressantes sont tombées le 23 mai (79,3 mm) sur sol sec, le 7 juillet (55,2 mm) sur sol sec, le 13-14 juillet (21 + 44 mm) sur sol humide, le 11 septembre (47 mm) et le 19-20 septembre (45 + 14 mm) sur sol humide et colmaté. Les décades les mieux arrosées eurent lieu fin mai (134 mm), début et mi-juillet (101 et 103 mm) et mi-septembre (106 mm). La couverture végétale bien développée (pas de feux) a suffisamment protégé le sol pour écarter tout risque d'érosion malgré quelques successions intéressantes de précipitations : par contre il y eut pas mal de drainage vertical (110-130 mm en surface).

La campagne 1971 (P = 674 mm) fut largement déficitaire (-190 mm) surtout en mai-juin-août et octobre. Une seule pluie dépasse 40 mm (42 mm le 14/7) mais il se présente trois séries d'averses intéressantes la 1ère du 8-10-13-14-16-18 juillet (20-32-30-42-17-24 mm), la 2^{de} le 23-24-25 août (21-27-30 mm) et la 3ème les 11-14-17 septembre (32-18-22 mm) ; celles-ci donnèrent lieu à un drainage vertical

Tableau 2.3

PRECIPITATIONS JOURNALIERES

STATION : GONSE (pluviomètre)

ANNEE : 1970

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1				/	/	/	/	24,8	17,6	/		
2				/	/	1,6	13,3	18,5	20,4	4,6		
3				/	/	/	/	2,1	/	/		
4				3,5	/	1,2	6,3	7,0	/	/		
5				/	/	1,9	/	/	/	/		
6				/	/	/	/	10,8	/	6,3		
7				7,5	/		55,2	/	/	/		
8				10,8	/	1,6	16,3	/	/	/		
9				/		2,3	9,8		15,2			
10				/	/	/	/	16,6	/	/		
Total				21,8	0	8,6	101,1	79,8	53,2	10,9		
11				/	/	/	11,1	12,5	46,8	/		
12				/	/	/		11,9	/	/		
13				/	/	/	21,4	12,9	/	/		
14				/	/	/	43,9	/	/	/		
15				/	/	/	/	3,2	1,2	1,7		
16				/	/	/	9,8	/	/	/		
17				/	/	/	/	7,8	/	/		
18				/	/	/	/	/	/	/		
19				/	/	15,0	16,6		44,6	/		
20				/	/	/	/	/	13,8	/		
Total				0	0	15,0	102,8	48,3	106,4	1,7		
21				/	10,6	/	5,8	13,1	/	/		
22				/	/	/	/	/	/	/		
23				/	79,3	/	/	11,6	/	/		
24				/	/	2,7	/	/	/	/		
25				/	/	/	/	17,7	/	/		
26				/	/	/	/	/	9,4	/		
27				1,5	/	/	13,4	/	/	/		
28				/	/	/	0,9	16,4	/	/		
29				/	/	/	10,7	/	/	/		
30				/	45,8	1,6	11,2	/	/	/		
31					8,1		/	/		/		
Total	0	0	0	1,5	133,8	4,3	42,1	58,8	9,4	0		
Totaux	0	0	0	23,3	133,8	27,9	245,9	186,9	169,0	12,6	Total	799,2

Tableau 2.4

PRECIPITATIONS JOURNALIERES

STATION : GONSE (HV) Pgraphe

ANNEE : 1971

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1			2,0	/	/	/	/	/	15,5	/		
2				/	/	/	/	16,0	/	3,5		
3				/	/	/	3,0	/	/	/		
4				/	/	/	/	5,5	12,5	/		
5				/	/	/	3,0	/	/	/		
6				/	/	19,5	/	13,0	/	/		
7				/	/	/	/	/	8,0	/		
8				/	/	/	20,5	9,5	0,5	/		
9				/	10,0	/	/	9,5	/	/		
10				/	/	/	31,5	/	/	/		
Total	0	0	2,0	0	10,0	19,5	58,0	53,5	36,5	3,5		
11				/	/	/	/	/	32,0			
12				/	/	/	/	7,0	/	/		
13				/	/	5,0	29,5	3,5	/	/		
14				/	/	/	42,0	/	18,0	/		
15				/	/	1,5	/	/	/	/		
16				/	/	/	17,0	/	/	/		
17				/	/	/	/	5,5	22,5	/		
18				/	2,5	/	24,5	0,5	/	/		
19				/	/	39,5	/	5,0	2,0	/		
20				/	14,0	/	12,5	/	/	/		
Total	0	0	0	0	16,5	46,0	125,5	21,5	74,5	0		
21				/	/	1,5	/	/	/	/		
22				/	/	/	/	5,0	/	/		
23				3,5	/	/	1,5	21,0	12,0	/		
24				0,5	/	/	/	27,0	2,0	/		
25				/	/	/	/	30,5	/	/		
26				11,0	/	/	6,5	2,0	/	/		
27				/	/	/	/	1,0	/	/		
28		0,8	10,4	/	/	/	/	0,5	/	/		
29				/	/	24,5	39,0	7,0	/	/		
30				/	/	/	/	/	/	/		
31				/	/	/	/	/	/	/		
Total	0	0,8	10,4	15,0	0	26,0	47,0	94,0	14,0	0		
Totaux	0	0,8	12,4	15,0	26,5	91,5	230,5	169,0	125,0	3,5	Total	674,9

Tableau 2.5

PRECIPITATIONS JOURNALIERES

STATION : GONSE

ANNEE : 1972

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1				/	/	1,0	/	/	<u>13,0</u>	/		
2				/	/	/	<u>23,5</u>	/	/	/		
3				/	/	<u>33,5</u>	/	/	/	/		
4				3,9	/	/	/	/	/	4,5		
5				/	/	<u>32,0</u>	/	/	/	/		
6				/	/	/	/	8,5	2,5	/		
7				/	/	4,0	12,5	/	/	/		
8				/	1,0	/	/	<u>22,0</u>	/	/		
9				/	/	/	/	/	/	<u>13,8</u>		
10				1,5	1,0	1,0	/	1,0	<u>57,8</u>	/		
Total				5,4	2,0	71,5	36,0	31,5	73,3	18,3		
11				<u>12,0</u>	/	/	9,0	<u>9,0</u>	/	/		
12				/	/	<u>39,5</u>	/	/	<u>10,2</u>	/		
13				/	/	1,5	/	27,0	<u>8,4</u>	/		
14				/	/	/	<u>12,0</u>	/	0,6	11,5		
15				/	/	/	/	/	/	/		
16				/	/	/	/	<u>7,5</u>	/	/		
17				/	/	/	/	/	/	/		
18				/	/	/	<u>20,0</u>	<u>28,0</u>	/	5,0		
19				/	2,0	/	/	/	/	/		
20				/	/	/		<u>10,5</u>	/	/		
Total				12,0	2,0	41,0	41,0	82,0	19,2	16,5		
21				/	/	/	7,5	/	/	/		
22				<u>12,0</u>	0,5	19,5	/	/	<u>20,0</u>	/		
23				/	/	/	/	<u>22,5</u>	/	/		
24				/	/	/	/	1,5	/	/		
25				/	/	/	<u>27,0</u>	/	/	/		
26				/	/	/	/	/	/	<u>6,0</u>		
27				<u>16,0</u>	/	/	4,0	/	<u>6,0</u>	/		
28				/	/	<u>45,5</u>	/	/	/	/		
29				/	1,0	4,0	/	/	/	/		
30				/	<u>9,5</u>	/	4,5	4,5	/	/		
31					20,5		3,0	4,0		/		
Total				28,0	31,5	69,0	46,0	32,5	26,0	6,0		
Totaux	0	0	0	45,4	35,5	181,5	123,0	146,0	118,5	40,8	Total annuel	690,7

Tableau 2.6

PRECIPITATIONS JOURNALIERES

STATION : GONSE Pluviographe

ANNEE : 1973

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1		/	/	/	/	/	6,0	/	/			
2		/	/	/	/	/	/	/	/			
3		/	/	/	/	/	/	11,0	/			
4		/	/	/	/	/	10,5	/	/			
5		/	/	/	1,1	5,0	6,0	/	6,9			
6		/	/	/	/	20,0	/	12,0	/			
7		/	/	/	/	/	/	0,5	4,3			
8		/	/	/	/	/	/	/	/			
9		/	/	/	/	/	/	8,0	/			
10		/	/	/	3,0	/	/	10,0	5,0			
Total		0	0	0	4,1	25,0	22,5	41,5	16,2	0		
11		/	/	/	/	/	1,0	/	12,0			
12		/	/	/	/	/	/	8,0	0,5			
13		/	/	/	/	/	0,5	/	/			
14		/	/	/	/	/	/	/	/			
15		/	/	/	/	3,0	/	7,0	1,0			
16		22,0	/	/	/	/	14,5	1,5	/			
17		/	/	/	/	2,5	/	14,5	/			
18		/	/	/	/	/	/	/	3,5			
19		/	/	78,5	/	1,0	13,5	/	/			
20		/	/	/	/	/	/	/	/			
Total		22,0	0	78,5	0	6,5	29,5	31,0	17,0	0		
21		/	/	/	/	/	12,0	2,5	/			
22		/	/	/	11,5	7,0	/	6,0	/			
23		/	/	/	/	/	/	/	15,0			
24		/	/	/	/	/	4,0	/	/			
25		/	/	/	42,5	20,5	/	/	/			
26		/	/	/	/	9,0	/	/	/			
27		/	/	/	/	5,0	8,5	10,5	/			
28		/	/	/	/	/	73,5	/	/			
29		/	/	/	/	2,5	/	/	/			
30		/	/	/	/	/	8,0	/	/			
31		/	/	/	21,5	/	/	/	/			
Total		0	0	0	75,5	44,0	106,0	19,0	15,0	0		
Totaux	0	22,0	0	78,5	79,6	75,5	158,0	91,5	48,2	0	Total	553,3

Tableau 2.7

PRECIPITATIONS JOURNALIERES

STATION : GONSE Pluviomètre

ANNEE : 1974

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1							1,0	13,6				
2						0,2				8,9		
3							<u>11,5</u>	9,5	<u>24,2</u>	8,5		
4							<u>7,2</u>					
5							<u>20,0</u>	<u>37,8</u>				
6						<u>17,1</u>			<u>15,0</u>	<u>18,9</u>		
7						2,9			<u>22,0</u>			
8							7,3					
9										<u>10,8</u>		
10					11,1		2,3	5,4				
Total					11,1	20,2	49,3	66,3	61,2	47,1		
11												
12							<u>27,1</u>	10,3	11,9			
13					9,6				2,0			
14									1,5			
15						1,8	6,2	<u>24,0</u>	5,9	1,7		
16					0,6			<u>46,1</u>	<u>38,9</u>			
17												
18												
19							2,0					
20							<u>11,9</u>	10,7				
Total					10,2	1,8	47,2	91,1	60,2	1,7		
21												
22					3,6	3,7	2,2	0,5	<u>16,0</u>			
23							2,0		1,6			
24							3,3	<u>19,5</u>				
25												
26							<u>18,1</u>	<u>17,2</u>				
27						1,0		<u>16,4</u>	8,8			
28												
29												
30					1,1			<u>14,0</u>				
31												
Total					4,7	4,7	25,6	67,6	26,4	0		
Totaux					260	267	122,1	225,0	147,8	48,8	Total annuel	596,4

abondant (155 et 140 mm dans les 60 premiers cm) mais à très peu de ruissellement et d'érosion étant donné le développement très vigoureux de la végétation herbacée suite à la protection contre les feux de brousse depuis novembre 1968. Les décades les mieux arrosées eurent lieu mi-juillet (126 mm) et fin août (94 mm).

La campagne 1972 (P = 691 mm) fut aussi nettement déficitaire (- 170 mm) surtout en mai-juillet août et septembre. Deux averses dépassent 40 mm : le 28 juin (45,5 mm) et le 10 septembre (58 mm). Aucune décade ne fut particulièrement arrosée (Max = 82 mm mi-août) mais suite aux feux de brousse tardifs très brutaux le sol est resté nu très longtemps et les phénomènes d'érosion et de drainage oblique et vertical furent nombreux dès la fin mai. Signalons les séries d'averses du 31 mai 3 et 5 juin (20-34-32 mm) et le 10-12-13 septembre (58-10-8,4 mm).

La campagne 1973 (P = 553 mm) fut la plus déficitaire (-300 mm) surtout en juin août et septembre : les pluies s'arrêtèrent brutalement le 23/9. Trois pluies sont à signaler : le 19 avril (78,5 mm sur sol sec), le 25 mai (42,5 mm sur sol sec), et le 28 juillet (73,5 mm sur sol humide). Les deux décades les mieux arrosées eurent lieu fin mai (76 mm) et fin juillet (106 mm). Le sol étant dénudé très longtemps suite aux feux de brousse tardifs, le ruissellement et l'érosion furent abondants mais le drainage beaucoup moins.

La campagne 1974 (P = 597 mm) fut encore très déficitaire (- 260 mm) surtout en mai-juin et juillet. Une seule pluie a dépassé 40 mm (le 16/8 = 46,1 mm) mais quelques séquences d'averses furent relativement favorables : du 3 au 11 juillet (11,5-7-20-7-2,5-27 mm) du 1 au 5 août (14-10-37,8 mm), les 15 et 16 août (24-46mm), du 24 au 30 août (20-17-16-14 mm).

Malgré la faiblesse des précipitations, l'érosion et le drainage vertical furent assez élevés à cause du faible développement de la végétation (feu très tardif 20/5/74). La décade la mieux arrosée eu lieu mi-août.

Les précipitations annuelles furent donc nettement déficitaires à GONSE par rapport à la moyenne sur 30 ans de OUAGADOUGOU. Ceci n'est pas dû à un accident localisé, les pluies furent du même ordre à GONSE et OUAGA durant cette période où le SAHEL a souffert de la sécheresse. Il convient cependant de souligner que si les pluies annuelles furent désastreuses sur le plan agricole, elles n'ont pas forcément été inactives du point de vue pédogénèse : il y eu en effet des averses et surtout des séquences d'averses qui ont entraîné des phénomènes d'érosion et/ou de drainage important dans certaines conditions de couverture végétale (ROOSE, 1974)

Tableau 2.8. Précipitations mensuelles et annuelles aux stations GONSE/ERLO (1968-74) comparées aux moyennes à OUAGADOUGOU (ASECNA)

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
GONSE													
1968	0	0	0	37	94	105	181	156	155	82	0	0	810
1969	-	-	19	8	85	90	138	280	139	0	-	-	759
1970	-	-	-	23	134	28	246	187	169	12	-	-	799
1971	-	1	12	15	27	91	231	169	125	3	-	-	674
1972	-	-	-	45	36	182	123	146	118	41	-	-	691
1973	-	22	0	79	80	75	158	91	48	0	-	-	553
1974	-	-	-	-	26	27	122	225	148	49	-	-	597
Moyenne	0	3	4	35	69	85	171	179	129	27	0	0	702
OUAGA	0	0	1	19	81	116	191	264	151	37	0	0	860

Tableau 2.9. Précipitations journalières maximales observées à GONSE (ERLO 1968-74)

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
1968	-	-	-	12	28	34	37	36	30	69	-	-	69
1969	-	-	13	7	36	26	50	54	28	-	-	-	54
1970	-	-	-	11	79	15	55	25	47	6	-	-	79
1971	-	-	10	11	14	40	72	31	32	4	-	-	72
1972	-	-	-	16	21	46	27	28	58	14	-	-	58
1973	-	22	-	79	43	21	74	15	15	0	-	-	79
1974	-	-	-	-	11	17	27	46	39	19	-	-	46
Max. mens	-	22	13	79	79	46	74	54	58	69	-	-	79

Tableau 2.10 Répartition mensuelle des classes de hauteur de pluie à la parcelle ERLO de GONSE (1968 à 74)

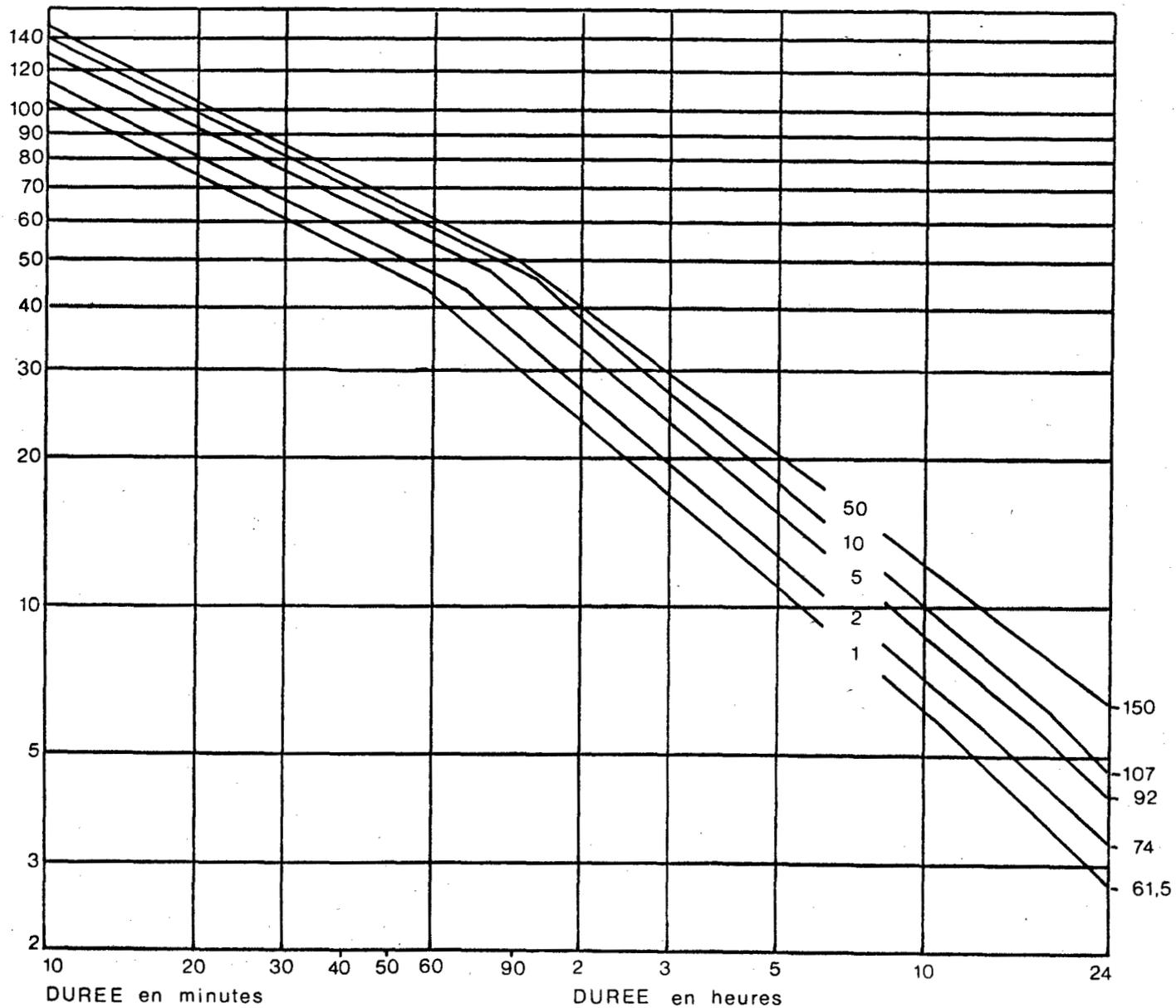
	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
0-10 mm.	0	1	2	12	17	36	39	46	31	12	-	-	196/7 = 28
10-20 mm		-	2	7	6	10	24	28	20	4	-	-	101/7 = 14,4
20-40 mm		1	-	-	8	9	15	16	12	0			61/7 = 8,7
40-60 mm				-	1	1	4	3	3	0			12/7 = 1,7
60-80 mm				1	1	-	2	-		1			5/7 = 0,7
> 80 mm							-						0
Nbre de pluies	0	2	4	20	33	56	84	93	66	17			375/7 = 55,3

Fig. 2.1 - COURBES INTENSITÉS DURÉES POUR LA RÉGION DE OUAGADOUGOU (selon Brunet-Moret, 1963)

Probabilité 1 fois en 1.2.5.10 et 50 ans

intensités en mm/h

hauteurs journalières en mm



21.2 La hauteur des précipitations

Au tableau 2.9 ont été reportées (voir tabl. 2.9 et 2.10) les hauteurs des averses journalières les plus importantes observées chaque mois à GONSE de 1968 à 74. La hauteur des averses est nettement plus modérée à GONSE qu'à ABIDJAN (150 mm chaque année) : à GONSE les pluies n'ont atteint 69 à 79 mm que cinq fois en sept ans. De plus la répartition des averses rares est inégale au cours des mois de l'année. Il est exceptionnel d'observer une pluie de plus de 30 mm/jour d'octobre à avril inclus. Cependant deux des plus fortes averses sont tombées en dehors de la période des pluies utiles à l'agriculture : leur action dégradante dépend du degré de couverture de la porosité et de la rugosité du sol.

L'analyse du tableau de répartition mensuelle des classes de hauteur de pluie (tabl.2.10) montre que dans 52 % des cas les averses tombent en quantité si faible (0-10 mm) qu'elles atteignent à peine le sol et s'évaporent dans les 48 heures ; 27 % des pluies profitent bien aux plantes sans entraîner de dégât sérieux tandis que 21 % des averses présentent de réels dangers d'érosion d'autant plus qu'une bonne part tombe à une période (avril à 15 août où la couverture végétale est peu développée. Les cinq plus fortes averses n'ont guère dépassé 69 à 79 milli-mètres :

- elles eurent lieu : le 8 octobre 1968 D = 69,2 mm
- : le 13 mai 1970 = 79,3 mm
- : le 13-14 juil.1971 = 71,5 mm
- : le 19 avril 1973 = 78,5 mm
- : le 28 juillet 1973 = 73,5 mm

BRUNET-MORET (1963) a calculé la hauteur des averses journalières de différentes fréquences pour les postes voisins de OUAGADOUGOU V et KOUPELA.

Tabl. 2. II	Nbre années observ.	Moyenne annuelle (mm)	Pluie de retour :						
			1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
OUAGA V	32	868	61,5	74	92	107	123	147	166
KOUPELA	34	821	63,7	78	99	116	135	163	186

La comparaison des tableaux 2.II et 1.9 montre que la hauteur des averses de fréquence annuelle observées à GONSE est très voisine de celles calculées pour les postes de OUAGA et KOUPELA sur de longues périodes et que, par ailleurs, il n'y eut à GONSE aucune averse de fréquence rare durant la durée des expérimentations.

21.3 L'intensité des précipitations tableau 2.12 fig. 2.3

Dans son étude sur les averses d'AFRIQUE Occidentale, BRUNET-MORET a également établi des courbes intensité X durée permettant d'estimer les intensités maximales que l'on peut prévoir au cours de l'averse exceptionnelle de fréquence annuelle, (62 mm) quinquennale (92mm) ou décennale (107 mm) en fonction du temps pendant lequel cette intensité perdure.

Tabl. 2. 12 :	Intensité max. (mm/h) durant pendant					
fréquence	10'	20'	30'	60'	180'	:
annuelle	100mm/h	75	60	42	17	:
décennale	140	100	80	58	28	:

Les résultats de nos observations confirment ces valeurs.

21.4. Un indice d'agressivité climatique $\sum R_{USA}$ a été défini par WISCHMEIER et SMITH (1958) comme étant la somme des produits de l'énergie cinétique des pluies unitaires par leur intensité maximale en trente minutes (exprimée en mm/heure).

$$R = \sum E_c I_{30}$$

Note : Cet indice d'érosivité a été sélectionné empiriquement par des comparaisons statistiques de divers indices en relation avec les pertes en terre observées sur parcelles d'érosion.

Dans la grande plaine américaine, cet indice d'érosivité climatique varie de 50 à 650 pied-tonne /acre, pouce/heure en fonction des précipitations annuelles. A GONSE, il a été calculé après le dépouillement de plus de 150 enregistrements pluviographiques exploitables de pluies de plus de 10 mm de hauteur selon la méthode préconisée par le C. T. F. T. de MADAGASCAR (1966). Il varie de 189 à 407 unités pour la période d'observation autour /d'une moyenne annuelle de 327 unités correspondant à des précipitations annuelles moyennes de 697 mm.

Plusieurs auteurs (CHARREAU, 1969 ; GALABERT MILLOGO, 1972 ; C.T.F.T., 1974) ont établi d'excellentes régressions linéaires entre l'énergie cinétique des pluies et leur hauteur. Par contre, s'il existe une régression entre l'intensité maximale en 30 minutes (I 30) et la hauteur des précipitations (CHARREAU, 1969) celle-ci est curvilinéaire et beaucoup plus lâche. Il est donc normal de constater (ROOSE, BERTRAND, 1972) que cette dernière relation se traduit par une gerbe curvilinéaire de points qui va en s'évasant à mesure que la hauteur des pluies augmente. En effet, l'indice R est une fonction de l'énergie cinétique (EC = f (H)) et de l'intensité (I30 = f(H)): par conséquent les erreurs se multiplient.

En cherchant à simplifier les dépouillements, GALABERT et MILLOGO (1972), PIOT voir C.T.F.T., 1974) et DELWAULLE (1973) ont trouvé une régression (éq.2) permettant d'estimer R en fonction de la hauteur de pluie (H) et de son intensité maximale en 30 minutes (I 30). Elle s'applique aussi bien en HAUTE-VOLTA qu'au NIGER (et probablement à toute l'AFRIQUE de l'Ouest).

$$R = 0,01572 H X 130 - 1,179 \text{ (éq.2).}$$

Mais si on étudie la répartition spatiale de cet indice R en AFRIQUE, une difficulté majeure surgit qui tient au petit nombre de postes météorologiques équipés d'un pluviographe à mouvement journalier et aussi à la courte période durant laquelle ils ont fonctionné. Par contre on dispose en AFRIQUE de l'Ouest d'un réseau relativement serré de postes d'observation de la hauteur des pluies journalières depuis 20 à 50 ans, ce qui permet de calculer des moyennes représentatives. Nous avons donc été amené à étudier en détail les liaisons existant entre la hauteur journalière (mesurée à 8 heures du matin) et l'indice d'agressivité climatique (ROOSE, 1975).

Les résultats des dépouillement des pluies de GONSE ont été reportés à la fig. 2.4. On y trouve

- la régression linéaire $R = f(H)$ calculée pour 50 averses tombées en 1968-69.

$$Y = 19,58 X - 13,53 \quad (r = 0,923) \quad \text{xxx} \quad \text{(éq.3)}$$

- la courbe exponentielle liant les centres de gravité des classes de hauteur (10/20 mm²⁰/30 - 30/40 - 50/80)

Il apparaît que pour les averses de type orageux comme à GONSE, la régression est du type logarithmique (log H) plutôt que linéaire. Elle est très voisine pour des postes aussi éloignés que OUAGA-NIANGOLOKO en HAUTE-VOLTA, KORHOGO-BOUAKE-DIVO-AZAGUIE en COTE d'IVOIRE.

A défaut d'une meilleure méthode, cette courbe des moyennes par classe de hauteur nous a servi pour estimer l'indice d'érosivité des averses pour lesquelles nous ne disposions pas d'enregistrement valable. (marqué * dans les tableaux 2.13). De plus, nous avons constaté qu'en transformant jour après jour les hauteurs des précipitations journalières en utilisant cette courbe, l'écart moyen sur 5 ans par rapport à l'indice moyen annuel mesuré ne dépassait pas 5 %. Il est donc possible de transformer les longues séries d'observations de pluies journalières (20 à 50 ans) pour trouver des moyennes mensuelles et annuelles satisfaisantes des indices d'érosivité climatique. (ROOSE, 1973 ; ROOSE, ARRIVETS, POULAIN 1974).

Enfin, nous avons constaté en une vingtaine de points situés en COTE d'IVOIRE, HAUTE-VOLTA, SENEGAL, NIGER, TCHAD, CAMEROUN et MADAGASCAR qu'il existe un rapport simple entre l'indice annuel moyen d'érosivité (Ram) sur une période suffisamment longue (5 à 10 ans) et la hauteur de pluie annuelle moyenne (Ham) durant la même période tel que

$$Ram / Ham = 0,50 \pm 0,05 \quad \text{(éq. 4)}$$

Cette dernière relation nous a permis de dresser une première esquisse de la répartition de cet indice en AFRIQUE de l'Ouest (ROOSE, 1975) (voir fig. 1.1.). C'est un document de travail assez précis ($\pm 5\%$) pour l'utilisation courante de l'équation de prévision de l'érosion de WISCHMEIER et SMITH. Il en découle que l'agressivité climatique est très élevée en zone tropicale humide et décroît presque parallèlement aux isohyètes entre ABIDJAN (Ham = 2100 mm, Ram = 1260 mm) et OUAGADOUGOU (Ham = 860 mm ; Ram = 430). Ceci s'explique par le parallélisme existant entre les courbes intensité X durée, la hauteur des averses décennales et les précipitations annuelles moyennes dans cette région (BRUNET-MORET 1963-67).

Durant la période sèche de nos observations, l'indice moyen Ram = 327 pour des précipitations Ham = 697 mm, ce qui donne un rapport Ram / Ham = 0,47 pour les années 1968 à 1974. Si les précipitations annuelles moyennes sur une période de 30 ans sont de l'ordre de 860 mm comme l'indiquent les études antérieures, l'indice d'érosivité moyen est donc de l'ordre de 430 unités.

Au tableau 2. 14 sont réunies les valeurs mensuelles et annuelles prises par cet indice d'érosivité climatique. Il en ressort que, en général, les mois les plus agressifs sont juillet-août-septembre (68 % du R total) mais qu'il peut survenir une pluie ou une série de pluies dangereuses d'avril à octobre. En pratique, étant donné le développement du couvert végétal protecteur, le mois le plus dangereux semble se situer en juillet.

En résumé, les observations eurent lieu durant une année de précipitation normale (1968) et six années où les précipitations furent légèrement à très déficitaires. Les hauteurs et les intensités des pluies furent comparables à celles des pluies courantes de fréquence annuelle ; aucune averse n'atteint des performances exceptionnelles. Cependant l'importance des transports solides et solubles ne dépend pas seulement des précipitations annuelles mais surtout des séquences pluvieuses : or il y eut un certain nombre de séquences capables de saturer le sol et de provoquer des phénomènes de ruissellement et quelquefois même du drainage.

2.2. LE RUISSELLEMENT

La lame ruisselée est la fraction des pluies que le sol ne peut infiltrer. Le coefficient de ruissellement (Kr %) exprime le rapport entre la lame ruisselée (Rmm) et la hauteur des pluies considérées. Au tableau 2. 15 sont présentés les coefficients de ruissellement annuels moyens (Kr ma %) et les coefficients de ruissellement maxima pour une averse donnée (KR MAX %).

Fig. 2.2 - RELATION RUSA = f (Hauteur pluie unitaire)
GONSE 1968-1974

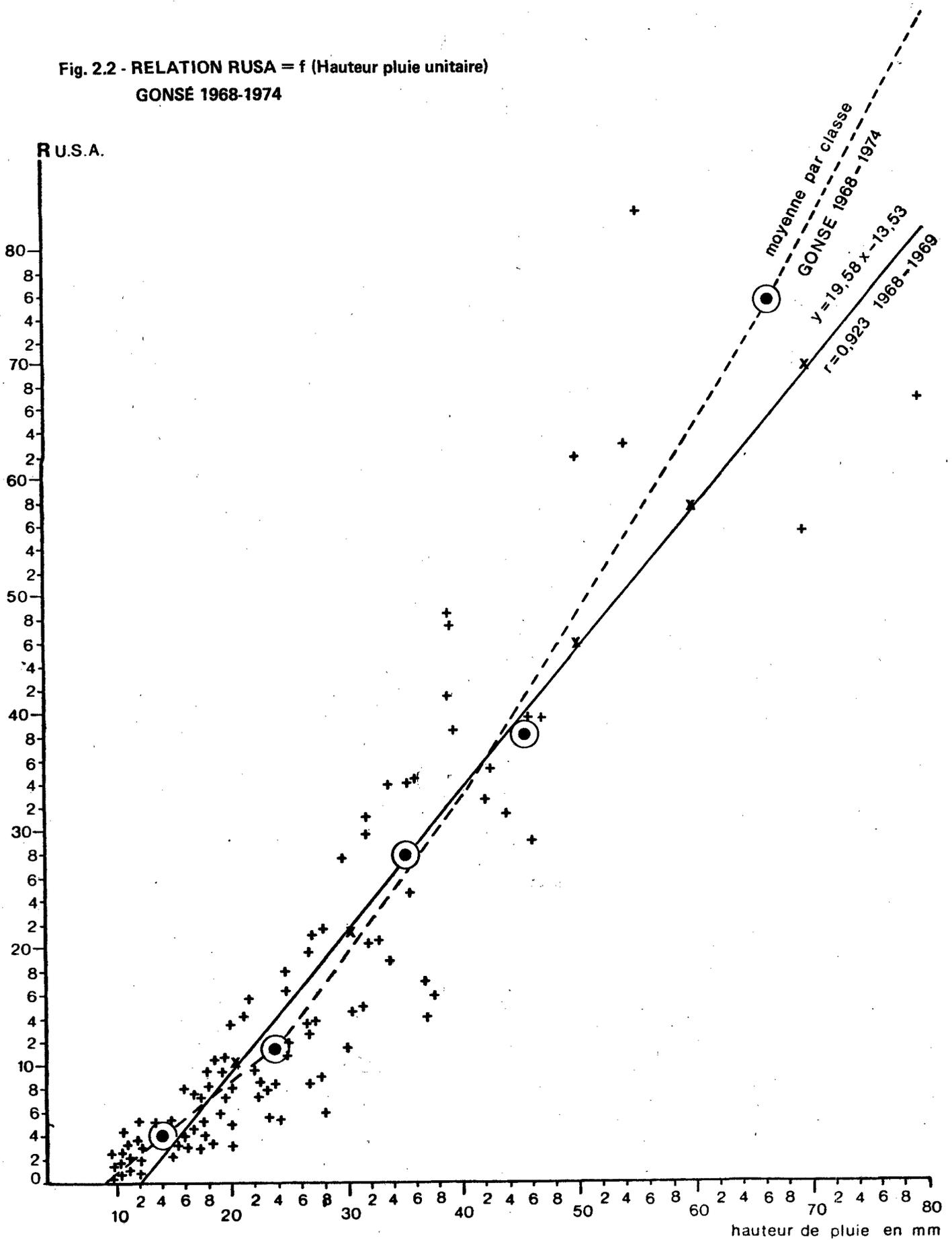


Tableau 213 a Indices journaliers, mensuels et annuels. GONSE : campagnes 1968 à 70.

GONSE 1968	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
	-	-	-	2,4*	7,9	19,9	12,3	6,5	20,0*	55,9		
				1,9	8,3	12,6	13,5	5,1	10,4*	-		
				-	10,6	5,6*	31,2	5,2	10,3*			
					6,5*	6,3	5,3	21,5	16,0*			
					-	-	17,1	3,5	8,8*			
							5,2	24,8	-		Total	
							-	-			annuel	
				4,3	33,3	44,4	84,6	66,6	65,5	55,9	354,6	
GONSE 1969	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.		
	-	-	2,3*	-	19,7	4,1	11,5	29,6	1,4	-		
			-		34,4	0,9	3,7	41,6	1,7			
					-	0,7	13,6	5,2	8,9			
						9,5	1,1	48,6	4,8			
						-	62,1	1,7	6,2			
							-	2,6	3,3			
								7,8	2,0			
								14,2	-			
								63,4			Total	
								-			annuel	
Total			2,3	0	54,1	15,2	92,0	214,7	28,3		406,6	
GONSE 1970	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.			
	-	0	1,8 *	1,5 *	4,3	2,6	11,1	4,2	0			
		-	-	66,8	-	83,5	9,9	10,2				
				34,4		7,5	1,8*	4,9				
				-		2,1 *	4,7	39,4				
						15,7	3,2	16,8				
						31,7	2,4	9,8				
						3,5	3,0	5,0				
						4,4	2,6*	-				
						2,2 *	5,0					
						2,8 *	7,9				Total	
						-	-				annuel	
Total	0	0	1,8	102,7	4,3	156,0	51,6	90,3			406,7	

Tableau 2.13. Indices d'érosivité journaliers, mensuels et annuels

GONSE : campagnes 1971 à 1974

GONSE	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.
GONSE 1971	-	1,0	1,6	2,4	7,4	5,3	8,0	5,1 *	-	-
	-	-	-	2,4*	38,7	14,8	3,3	9,8 *		
				-	16,2	27,9	9,3 *	20,4		
					-	32,6	11,8	8,2		
						6,9	14,8	8,1		
						18,0	-	3,3		
						3,5		-		
						47,6				
						-				Total annuel
	0	1,0	1,6	4,8	62,3	156,6	47,2	47,9	0	321,4
1972										
		-	3,3 *	12,1	34,0	5,5	8,5	2,9	4,3 *	-
			1,7	-	20,4	3,0	8,2	60,0 *	4,1	
			7,6		15,3	3,7	5,9	2,5 *	-	
			-		8,2*	8,5	1,7	3,1		
					39,8	21,0	7,5	-		Total annuel
					-	-	-			292,8
	0	0	12,6	12,1	117,7	41,7	31,8	68,5	8,4	
1973										
	10,0*	0	106,0*	3,5	9,9	2,6	2,8*	3,3 *	-	
	-	-	-	35,5	8,6	2,8	2,0	4,2		
				6,9	-	4,0	2,4	-		
				-		1,7	2,7			
						106,4	2,6			Total annuel
						-	-			317,9
	10,0	0	106,0	45,9	18,5	117,5	12,5	7,5		
1974										
				1,57	2,98	3,78	2,77	11,93	10,22	
				-	-	7,95	15,93	14,77	2,60	
						13,55	2,14	1,56		
						3,04	5,40	31,2*		
						3,28	28,71	6,72		
						-	0,48	-		
							5,95			
							4,82			
							3,39			Total annuel
							4,64			189,38
				1,57	2,98	31,60	74,23	66,18	12,82	
Moyenne 1968-74	1,4	0,5	18,0	36,4	37,9	97,1	71,2	53,5	11,0	327

Tabl. 2. 15	1968	69	70	71	72	73	74	1968 [✕]
Etat du couvert	Feux hâtifs		Protection intégrale		Feux tardifs : : :			Plantation Eucalyptus Crebra de 3 ans
Pluies (mm)	809	759	799	674	691	553	596	
RUSA	355	407	407	321	293	318	189	
KR ma %	3,0	2,3	0,3	0,2	8,9	16,1	14,9	8 %
KR MAX %	8,2	10,4	1,3	0,7	73,3	52,8	55,6	24 %
R (mm)	24,0	17,1	2,5	1,5	62,0	88,9	89,0	BIROT-GALABERT 1969-1970

La lame ruisselée a varié de 2 à 89 mm ce qui correspond à des coefficients de ruissellement annuel de 0,2 à 16 % des précipitations ; mais c'est au cours des fortes averses que les variations de ruissellement sont les plus fortes (KR MAX = 0,7 à 73 %). Ces variations sont indépendantes de la hauteur des pluies annuelles : en effet, c'est en 1973, année la plus sèche, que les phénomènes de ruissellement ont été les plus forts. Comme dans les autres stations, c'est l'état du couvert végétal qui détermine le niveau des phénomènes d'érosion. A la parcelle ERLO de GONSE les feux hâtifs pratiqués en 1968 et 69 n'ont guère détruit les touffes d'Andropogon sibien que la végétation recouvrait déjà une bonne partie du sol lors des fortes averses de juillet : malgré la faible perméabilité du sol, le coefficient annuel moyen de ruissellement (KR ma) n'a guère dépassé 2 à 3 % et le coefficient maximal au cours d'une averse n'a atteint que 8 à 10 % des précipitations. Après protection complète contre les feux et le pâturage, la végétation herbacée et arbustive est devenue extrêmement dense à l'abri de laquelle s'est développée une mésofaune (termite, fourmis, vers de terre) très active : le ruissellement fut négligeable (KR ma 0,2 % et KR MAX 1,3 % à 0,7 % pour des pluies atteignant 50 et 79 mm).

En 1972, 73 et 74 par contre le feu est passé très tardivement (avril ou mai) sur la parcelle ERLO si bien que le sol est resté dénudé très longtemps : la végétation herbacée et arbustive a nettement régressé de même que l'activité des termites et surtout des vers de terre qui ont pratiquement disparu. Le ruissellement a dépassé 9 à 16 % des précipitations annuelles et jusqu'à 50 à 73 % de grosses averses.

En dehors du couvert végétal, l'état structural et le niveau d'humectation du sol avant l'averse eurent également une forte influence sur l'intensité du ruissellement. Ainsi durant les trois dernières années où les feux furent tardifs, le ruissellement ne se déclenche que pour des averses de plus de 12 à 20 millimètres durant les mois secs (octobre à mai-juin) et pour des pluies de 7 à 13 millimètres au coeur de la saison humide (juillet-août-septembre).

De même, la pluie du 18 avril 1973 (H = 78,5 mm, RUSA = 106 tombant en fin de saison sèche n'a donné que 20 % de ruissellement tandis que l'averse du 28 juillet 73 (H = 72 mm, RUSA = 106,4) a entraîné 53 % de ruissellement, le sol étant passablement humide et glacé par la battance des pluies.

A titre de comparaison, signalons que BIROT et GALABERT ont observé des ruissellements annuels de l'ordre de 8 % (KR MAX = 24 %) sous une plantation d'Eucalyptus âgée de 3 ans, binée et désherbée à GONSE dans une parcelle voisine de la case ERLO et des ruissellements de 16 à 32 % sous culture traditionnelle à plat (grattage localisé du sol), de 12 à 45 % sous culture mécanisée suivant la pente (labour et billonnage), de 2 à 10 % sous culture mécanisée isohypse (labour, billonnage et cloisonnement) sur trois parcelles de pentes semblables (0,8 %) situées à GAMPELA sur un sol ferrugineux tropical à carapace vers 10 à 40 cm de profondeur (C.T.F.T. 1972). On notera donc que, même en milieu de savane SOUDANO-SAHELIENNE où les feux de brousse précoces passent chaque année, le ruissellement est faible (2 à 10 %) en comparaison de celui qu'on observe en milieu cultivé non aménagé (sorgho-mil-arachide: KR ma = 12 à 45 %).

Signalons enfin que sur bassin versant, le coefficient d'écoulement atteint 20 à 40 % des précipitations annuelles ; il s'agit ici non seulement du ruissellement mais aussi des écoulements hypodermiques et de nappes.

En résumé, sur ce type de sol ferrugineux peu perméable, le ruissellement peut prendre des proportions intolérables (50 à 70 % des pluies) en ces zones tropicales déficitaires en eau. Cependant la protection du couvert végétal et l'activité de la mésofaune perforant les horizons superficiels du sol peuvent réduire considérablement (1 % du moins) les risques de ruissellement tout en améliorant le bilan des matières organiques du sol et les propriétés physiques et chimiques qui y sont liées. L'efficacité de la mise en défens a été démontrée ainsi que celle de la pratique des feux précoces là où on peut craindre les incendies accidentels d'autant plus néfastes que les pailles se sont accumulées d'une année à l'autre.

2. 3. L'EROSION MECANIQUE

Le sens du terme érosion (tabl. 2. 16) mécanique est celui de transport solide à la surface du sol à l'exclusion de l'érosion chimique, de la lixiviation des bases et du lessivage des colloïdes qui peuvent avoir lieu à l'intérieur du sol. Dans les dispositifs ERLO, l'érosion mécanique est la somme des pertes en particules fines migrant en suspension plus ou moins stables dans les eaux de ruissellement et des particules plus grossières (sables et agrégats) rampant ou tractés à la surface du sol.

Tabl. 2. 16	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
Etat du couvert	Feux précoces		Protection intégrale		Feux tardifs		
Pluies en mm	809	759	799	674	691	553	596
R _{usa}	355	407	407	321	293	318	189
Ruiss (KR ma %)	3	2	0,3	0,2	9	16	15
Erosion kg/ha	149,4	46,8	18,2	47,3	408,3	303,9	312,3
Turbidité mgr/l	203	170	237	155	582	295	306
S / E %	33	63	33	5	88	86	88

où S = suspensions fines et E = érosion totale (susp. fines + terre de fond)

L'érosion sous la savane arborée Sahélo-Soudanaise de GONSE est restée très faible de 1968 à 74 : elle a varié de 18 à 408 kg/ha/an tandis que la turbidité des eaux de ruissellement variait de 150 à 580 mgr/litre de fines. Ces variations sont étroitement liées d'abord avec la pratique des feux (donc avec le couvert végétal) et ensuite avec l'intensité du ruissellement. Par contre, dans ce milieu naturel savanicole, l'érosion n'a pas de relation étroite avec la hauteur annuelle des pluies et leur indice annuel d'érosivité. Il est intéressant de noter d'une part que les turbidités sont légèrement plus fortes dans le cas des feux tardifs et d'autre part que la proportion en fines dans l'érosion totale (S/E) est faible lorsque le sol est bien couvert (5 à 33 % en 1970-71) et plus forte lorsque les feux tardifs laissent longtemps le sol mal protégé (87 % en 72-73-74). Ce fait étonnant pourrait signifier que, sur ces paysages extrêmement plats (< 1 %), le transport de particules grossières est négligeable (12 à 49 kg/ha/an) et plus étroitement lié à un artefact du dispositif (projection des sables sur le canal de ruissellement) qu'aux phénomènes naturels d'érosion qui procèdent à une redistribution des sables dans les petites déclivités de la surface du sol. L'érosion en dehors des parcelles pourrait donc être légèrement plus faible (10 à 40 kg de moins) surtout la première année (tassement des bordures).

A titre de comparaison, signalons qu'à la station C.T.F.T. de GAMPELA, l'érosion s'est élevée de 10 à 21 t/ha/an sur sol nu, de 1,6 à 6,5 t/ha sous culture traditionnelle à plat, de 2,5 à 10,3 t/ha sous culture mécanisée parallèle à la plus grande pente (0,8 %) et de 0,6 à 2,1 t/ha sous culture mécanisée isohypse (labour + billonnage cloisonné).

En résumé, l'érosion sous la savane arborée de GONSE est très faible mais peut varier de 1 à 20 si l'on passe de la protection intégrale du couvert végétal à la pratique des feux tardifs.

L'érosion potentielle est la perte en terre à laquelle il faut s'attendre au cas où le sol serait exposé à l'agressivité des pluies après avoir été totalement dénudé. Nous ne disposons pas de parcelle d'érosion sous sol nu à GONSE mais il est possible d'estimer l'érosion potentielle à partir de l'équation de prévision de l'érosion de WISCHMEIER (1960) * où les pertes en terre sont une fonction multiplicative de cinq facteurs :

- R indice d'érosivité climatique = 430 à GONSE ;
- K = érodibilité du sol = 0,20 à 0,30 sur ce type de sol ;
(WISCHMEIER, JONHSON et CROSS, 1971)

- SL = indice topographique tenant compte de l'inclinaison de la pente (S) (0,4 %) et de sa longueur (L en pieds)

$$SL = \frac{\sqrt{L}}{100} (0,76 + 0,53 S + 0,076 S^2)$$

Pour une pente de 0,4 % si L = 100 m. SL = 0,1783

si L = 30m. SL = 0,0976

0,8 % si L = 30 m. SL = 0,1223

- C représente l'influence combinée de la couverture végétale et des techniques culturales utilisées. Sous forêt il est de l'ordre de 0,01 à 0,001.

- P représente l'action dépressive sur l'érosion des pratiques antiérosives.

Sur sol nu C et P = 1.

$$E(t/ha/an) = R \times K \times SL \times C \times P \times 2,24 \quad (\text{éq....})$$

où 2,24 permet de convertir les tonnes métriques /ha en ton/acre.

En réduisant C et P à 1 comme c'est le cas d'un sol nu défriché non aménagé l'érosion potentielle prend les valeurs suivantes :

					E en t/ha/an : Erosion 10cm en	
Si K = 0,20	(L = 30 mètres	S = 0,4 %	SL = 0,0976	E = 18,8/t/ha/an	85 ans	
			SL = 0,1783	E = 34,3/t/ha/an	47 ans	
Si K = 0,30	(L = 30 mètres	S = 0,4 %	SL = 0,0976	E = 28,2 t/ha/an	57 ans	
			" "	E = 51,5 t/ha/an	31 ans	
Si K = 0,30	L = 30 mètres	S = 0,8 %	SL = 0,1223	E = 35,3 t/ha/an	45 ans	
			K = 0,30 L = 100 m. S = 0,8 %	= 0,2233	E = 64,5 "	25 ans
			K = 0,20 L = 30 m. S = 0,8 %	SL = 0,1223	E = 23,6 "	65 ans

Il ressort de ce tableau que l'érosion potentielle sur cette parcelle de 4 % de pente peut varier de 18 à 52 t/ha/an en fonction de la largeur du champ (dans le sens de la pente) et de l'évolution de l'érodibilité du sol (laquelle augmente lorsque les matières organiques du sol diminuent).

* Pour le détail des calculs voir ROOSE 1973 et 1976

Si l'inclinaison de la pente passe à 0,8 %, l'érosion potentielle varie cette fois de 24 à 65 t/ha/an. Or sur la parcelle nue (dite WISCHMEIER) de GAMPELA, les pertes en terre ont varié entre 10 et 21 t/ha/an pour des précipitations déficitaires (773 et 720 mm) et une pente de 0,8 % longue de 25 mètres.

Si on estime le poids de terre contenu dans les dix premiers centimètres (C.T.F.T., GAMPELA 1972) à 1 600 t/ha il faut 31 à 87 ans pour que la couche arable soit décapée si elle reste sans aucune protection. Et si la pente atteint 0,8 % il ne faut plus que 25 à 65 ans. En réalité cela ne se passe jamais ainsi car le sol finit toujours par se recouvrir d'une maigre végétation protectrice et l'homme n'a aucun intérêt à la laisser dénudée mais bien à la cultiver ce qui multiplie par 2 à 5 le temps nécessaire pour que l'horizon meuble soit décapé.

Cependant si l'érosion mécanique est forcément limitée sur ces pentes très douces elle reste pourtant dangereuse qualitativement car elle arrache sélectivement les colloïdes et les éléments nutritifs qui constituent le support de la fertilité de ces terres très pauvres.

2. 4. CONCLUSION SUR LES PHENOMENES D'EROSION

1) Durant la période d'observation, les précipitations furent modérément à largement déficitaires par rapport à la normale. Aucune averse exceptionnelle de fréquence inférieure à 2 ans n'a été observée. Cependant il y eu des séquences pluvieuses telles qu'elles ont entraîné des phénomènes de ruissellement, d'érosion et même quelque fois un peu de drainage.

2) En milieu naturel savanicole parcourus par des feux précoces ou à plus forte raison intégralement protégé des feux, le ruissellement (0,2 à 3 % l'an) et l'érosion (20 à 150 kg/ha/an) sont extrêmement réduits.

3) Lorsque la savane est brûlée tardivement, l'érosion reste modérée (160 à 450 kg/ha/an) sur ces faibles pentes (<1 %) mais le ruissellement peut prendre des proportions intolérables dans ce milieu tropical déficitaire en eau (KR MAX = 50 à 75 % des averses).

4) La mise en culture sans précaution de ce type de sol ferrugineux sur plateau à pente douce entraînerait une érosion dix à vingt fois plus forte et un décapage somme toute assez lent de l'horizon humifère (10 cm en 60 à 260 ans). Il est à craindre cependant une détérioration des propriétés physiques et chimiques par érosion sélective de ce sol dont la fertilité naturelle est déjà médiocre.

CHAPITRE 3. ESSAI DE BILAN HYDRIQUE

Il n'est pas possible de calculer un bilan hydrique précis pour la parcelle ERLO de GONSE car il manque des données d'évapotranspiration. De plus, il serait fastidieux de procéder au bilan jour après jour, seule façon exacte d'évaluer les différentes fractions issues des eaux de pluie. Nous passerons donc en revue les données d'observation dont nous disposons, puis nous essaierons de schématiser le bilan à l'échelle du mois sous savane arborée (moyenne 68-74 à GONSE et moyenne régionale) et sous culture traditionnelle (sorgho mil arachide) en année moyenne, sèche et humide. Ensuite nous essaierons d'en tirer des conclusions en vue des aménagements antiérosifs, de l'irrigation et de l'utilisation rationnelle de la fertilisation (limitation de la lixiviation).

3.1. LES DONNES D'OBSERVATION.

3.1.1. Les précipitations

Les pluies journalières, décadaires et mensuelles observées à la parcelle ERLO de GONSE sont rassemblées aux tableaux 2.1 à 2.7 : leur résumé mensuel est repris au tableau 2.8. Pour estimer le bilan à l'échelle régionale nous emprunterons les chiffres de précipitation moyenne sur 40 ans (1931-70) calculés par l'ASECNA pour le poste OUAGADOUGOU ville et les observations réelles pour une année sèche (1963) et une année humide (1955).

3.1.2. Le ruissellement

Sur le plateau MOSSI pratiquement toute la brousse brûle chaque année et le plus souvent avant la fin de l'année : nous retiendrons 2,5 % donc comme valeur moyenne du ruissellement sous la savane de GONSE. Nous n'avons pas de mesure sous culture à GONSE mais à la station voisine de GAMPELA, le ruissellement a varié de 10 à 45 % sous diverses cultures locales : nous tiendrons compte d'une valeur annuelle moyenne de l'ordre de 25 % que ce soit sous culture traditionnelle ou sous culture mécanisée non aménagée en vue de la conservation des eaux et du sol.

3.1.3 Le drainage oblique

Lorsque les eaux de pluie s'infiltrant dans le sol, une partie recharge la réserve hydrique du sol et assure l'évapotranspiration, une autre partie draine verticalement jusqu'à la nappe phréatique à moins de rencontrer des horizons relativement peu perméables au-dessus desquels elle forme des engorgements ou des nappes temporaires d'eau libre susceptible de s'écouler dans le sol vers les points bas de la toposéquence : c'est le drainage oblique que nous avons tenté d'évaluer dans une case de mesure de l'Erosion de du Ruissellement du Lessivage Oblique (case ERLO) située vers le bas du glacis de la toposéquence de GONSE.

Tableau 3.1. Volume des écoulements obliques recueillis à la case ERLO de GONSE

année	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	Extrêmes	moyennes N 700 mm
pré- cipitations (mm)	809	759	759	674	691	553	596		
G1 25cm	30,1	traces	traces	traces	0,3	0,4	0	0 à 30 1	4,4
G2 80	6,3	"	"	"	0	0,1	0	0 à 6	0,9
G3 140	0	"	"	"	0	0,4	0	0	0,1
G4 170	0,1	"	"	"	61,8	0,1	0,7	0,1 à 62	9,0
G5 210	11,3	"	"	"	94,0	0,1	2,3	0 à 94	15,3
Total en litres	47,8	0,1	0,1	0,1	156,1	1,1	3,0	0 à 156	29,7

Rappelons qu'il est impossible de délimiter la zone concernée par le phénomène de drainage oblique dans le cas du dispositif de GONSE (voir ROOSE BIROT, 1970). Cependant cet inconvénient est mineur dans ces circonstances car, même en ne considérant que la surface de la parcelle (2 x 41,67 mètres) le drainage oblique a toujours été réduit. Au tableau 3.1. on peut voir en effet que les écoulements obliques sur une tranche de 2 m x 2,1 m de sol n'ont atteint que 47,8 litres en 1968 (soit au Max. 0,57 mm), 156,1 litres en 1972 (soit 1,87 mm au Max.) et des traces les autres années. Les manifestations de drainage oblique ont en général été de faible importance (quelques cm³ ou quelques litres) à part quelques écoulements significatifs (plus d'un litre) au sommet de la carapace vers le début de la saison des pluies (7 fois en 7 ans de mai à juillet) et dans les horizons appauvris plus poreux en fin de saison des pluies (9 fois en 7 ans de juillet à octobre) mais jamais dans le pseudogley argileux (voir tableau 3.2.). On peut se demander comment l'eau libre peut-elle jaillir au niveau le plus bas (G 5) sans qu'il en coule aux niveaux intermédiaires ? Nous pensons que si l'eau arrive à pénétrer au cours d'une pluie ou dans les 10 heures qui suivent jusqu'à 170-210 cm de profondeur ce n'est certainement pas par le chemin ordinaire des capillaires car leur vitesse de filtration est très faible et les horizons intermédiaires restent souvent secs jusque vers la fin de la saison des pluies. Ce ne peut donc être que par les discontinuités du sol : fentes ou mégapores constitués par l'activité de la faune (petits mammifères et surtout termites et fourmis) ou de la flore (vieilles racines pourries). Nous avons d'ailleurs observé de nombreux affaissements de la surface du sol à l'emplacement d'anciennes termitières détruites par l'érosion.

On peut aussi se demander s'il existe réellement un écoulement oblique tout au long de la toposéquence ? Etant donnée la répartition en mosaïque des sols sur ce glacis à pente très douce, il est probable que cela ne se passe que très rarement mais qu'il se forme plutôt des poches d'eau libre très localisées et temporaires qui pourraient avoir une importance capitale sur la genèse et l'évolution des argiles : ce mauvais drainage serait à l'origine des illites qui accompagnent la kaolinite en proportion très variable d'une tache de sol à une autre.

Enfin on a cherché (voir tableau 3.2.) à mettre en évidence les facteurs qui pourraient être liés aux manifestations principales de drainage oblique (12 ou 13 en 7 ans). La pente est faible et le drainage oblique aussi. Il s'annule lorsque la végétation est abondante par suite d'une mise en défens intégrale (1969 à 71) mais reprend lorsque les feux font régresser le développement des graminées et petits buissons. On peut craindre qu'en 1968 il y eut quelques infiltrations des eaux de ruissellement à travers les fissures du canal de ruissellement : celui-ci fut réparé avant la campagne 1969. Le drainage oblique n'apparaît pas pour des pluies de moins de 20 millimètres mais plusieurs pluies de plus de 40 mm ne donnèrent lieu à aucun drainage oblique. L'intensité maximale en 30 minutes des averses donnant un drainage oblique est souvent assez forte mais pas toujours ; l'état d'humectation du sol (représenté par l'indice H 10 jours = somme des pluies tombées les dix jours précédents) n'est pas forcément très élevé non plus. Les circonstances donnant lieu à drainage oblique sont donc complexes et finalement la station de GONSE n'est peut-être pas la meilleure finalement (malgré les horizons à pseudogley et la cuirasse imperméable) pour approfondir ce sujet. Signalons qu'en 1971 nous avons installé au Centre de Recherche Agronomique de SARIA (30 km de KOUDOUGOU) deux cases ERLO sur des sols ferrugineux tropicaux à carapace située vers 10 et 50 cm de profondeur. (voir ARRIVETS ROOSE, 1972 et ROOSE, ARRIVETS, POULAIN : 1974).

Tableau 3.2. Les principales manifestations de drainage oblique en relation avec la hauteur et l'intensité des précipitations ainsi qu'avec un indice de l'état d'humidité préalable du sol (H 10 = somme des pluies des 10 jours précédents).

- Volume en litres du drainage oblique aux 5 niveaux.

Tabl. 3.2. Volume (l) Drain. obli.	hauteur pluie (mm)	Intensité I Max 30' (mm/h)	Hum.préal. H 10 jours	G 1 25cm	G 2 80cm	G 3 140	G 4 170	G 5 210	Remarques
13/7/68	31,8	62	57	6,0	0	0	0	0	
17/7/68	36,5	23	79	3,9	0	0	0	11,3	
26/8	28,0	18	58	1,9	1,9	0	0	0	
30/8	35,6	46	84	1,4	0	0	0	0	
4/9	30,2	-	116	2,7	0	0	0	0	
8/9	21,9	-	105	1,3	0,4	0	0	0	
7/10	69,2	-	8	2,0	2,9	0	0	0	
31/5/72	20,3	36	11	0	0	0	1,7	0	
3/6	33,5	62	32	0	0	0	>60 l	>60 l	débordés
12/6	37,9	25	70	0	0	0	0	9,6	
28/6	45,5	62	20	0	0	0	0	24,4	
28/7/73	73,5	100	tous pleins	mais	tous renversés=	mélangés avec			
15/8/74	46,1	47	40	0	0	0	0,7	2,3	Ruiss.

3.1.4. Le drainage vertical

Le drainage vertical (observé dans trois lysimètres de sol non remanié) s'est manifesté de façon significative (>1 litre) cinquante fois en 7 ans. Il a varié de 0 à 154 millimètres par an vers 50 cm de profondeur et de 0 à 16 mm en dessous de 90 cm. En 1968 et 69, la surface des lysimètres, planée et dénudée, fut bien vite encroûtée sous l'effet de la battance des pluies ; il n'y eut aucun écoulement, pas plus qu'aux trois lysimètres de sol remanié (à 30-60 et 90 cm de profondeur) placé dans le voisinage sous une plantation d'eucalyptus (BIROT, GALABERT, 1965 et 70).

Afin d'obtenir des eaux de drainage pour l'analyse, la surface des lysimètres fut aménagée en cuvette en avril 1970 : dès lors des herbes courtes mais drues (genre Pennisetum) s'y installèrent et supprimèrent la pellicule de battance.

Le drainage vertical mesuré à partir de cette date (voir tabl. 3.3) est excédentaire par rapport à la réalité (2 à 10 % du montant des pluies) puisque le refus à l'infiltration n'a plus la liberté de ruisseler car un anneau de garde métallique l'en empêche. En 1974, les écoulements devinrent aberrants (supérieurs aux pluies) soit parce que le couvert végétal se développant ont intercepté plus de pluie que ne l'aurait fait le lysimètre dénudé soit à cause d'apports latéraux (ruissellement) que nous n'avons pas réussi à localiser lors des tests de démontage.

TABL. 3.3 Drain. verti. GONSE	Drainage vertical brut observé						Drainage vertical corrigé					
	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	Max. (68-73)		Moyen (68-73)		
Pluies (mm)	809: 759: 799: 661: 698: 553: 597						mm	:% des pluies		mm	:% des pluies	
GDV1 (50 cm)	0	0	123	154	48	tra-:aber	110-120	:	18	46	:	6,4
	:	:	:	:	:	ces :rant	:	:	:	:	:	:
GDV2 (60cm)	0	0	111	140	36	90 * : "	80-100	:	15	40	:	5,7
GDV3 (90cm)	0	0	6	17	0	6 : "	0-2mm	:	0,3	0	:	0

* incidents.

Le drainage vertical sous la savane de GONSE est donc faible (Max. 100-120 mm) et limité aux horizons bien aérés du sol (60 cm) ; le front d'eau libre dépasse rarement 90 à 120 cm de profondeur dans le sol. Il ne se manifeste généralement que durant 1 à 2 mois (fin juillet à fin septembre) à moins qu'une averse importante (plus de 30 mm) ne survienne après une succession de pluies suffisantes pour réhumecter une partie du profil.

Ces faibles valeurs des percolations observées en lysimètres sont en conformité avec le faible potentiel de drainage du site puisque les pluies sont relativement modérées, le ruissellement est élevé, l'E.T.P. reste forte toute l'année et la vitesse d'infiltration du sol est réduite.

Quoique l'importance du drainage ne soit pas en relation directe avec le montant des précipitations annuelles (voir 1971 et 1969), il est probable que le drainage vertical serait plus élevé en année de précipitation excédentaire ou tout au moins lorsqu'il advient des averses de fréquence plus rare. Ces résultats confirment d'une certaine manière ceux qu'AUDRY a obtenus au TCHAD sur des sols ferrugineux tropicaux, dans la mesure où il apparait clairement que le drainage est plus fréquent et plus élevé dans les horizons superficiels (appauvris) que dans les horizons profonds (AUDRY, 1967).

3.1.5. Evolution du stock d'humidité du sol

Le stock d'eau du sol (tarrière) et diverses propriétés physiques liées à la dynamique de l'eau du sol ont été mesurés à diverses reprises au cours des campagnes successives. Certains résultats ont déjà été discutés (chap. 4 ROOSE BIROT, 1970). Nous nous bornerons ici à résumer les principaux résultats qui pourront nous servir pour interpréter la dynamique de l'eau dans le sol. (voir tabl. 3.4.).

La densité apparente sèche est forte dès la surface ($d_a = 1,59$) passe par un premier maximum dans l'horizon beige (1,74) puis diminue (1,70) dans l'horizon ocre avant de remonter à 1,76 dans le gley et au-delà de 2,17 dans la zone gravillonnaire ⁺ soudée.

La porosité totale est médiocre en surface (36 %) et diminue progressivement (30-32 %) dans les horizons beige, ocre et le gley (28 %) : elle est très faible dans le niveau gravillonnaire au-dessus de la carapace (12 %). La répartition entre les différentes tailles de pores varie en profondeur. Les macropores qui assurent la migration rapide des solutions, occupent les 2/3 de la porosité totale en surface, la moitié dans l'horizon beige, moins du quart dans l'horizon ocre et disparaissent dans le gley argileux et gravillonnaire. Les micropores sont inversement proportionnels à la proportion de particules grossières (sables et gravillons).

La réserve hydrique du sol se définit généralement comme la différence entre le stock d'eau du sol à capacité au champ (c'est-à-dire lorsque la circulation rapide de l'eau est terminée) et le stock hydrique du sol desséché au point de flétrissement permanent (pF 4,2). En se basant sur les courbes humidité x pF estimées en laboratoire sur des échantillons séchés et tamisés, la réserve hydrique du sol (humidité à pF 2 pour les horizons sableux et pF 3 pour les horizons argileux moins pF 4,2) s'élève à 54 mm sur 50 cm ; 76 mm. sur 1 mètre et 138 mm jusqu'à la cuirasse (ROOSE, BIROT 1970 p. 48). La réserve d'eau facilement utilisable est définie d'ordinaire comme les deux tiers de ces valeurs. A partir des mesures de terrain de capacité au champ et des estimations de laboratoire de pF 4,2, la réserve hydrique s'élève à 71 mm sur 50 cm, 103 mm sur 1 mètre et 140 millimètres jusqu'à la cuirasse.

Cependant, cette réserve hydrique, importante à connaître pour le calcul des doses d'irrigation, ne coïncide pas avec la différence de stock d'eau du sol entre le profil sec en fin de saison sèche et le profil réhumecté permettant les mouvements d'eau libre vers la fin de la saison des pluies. Durant la longue saison sèche en effet, le sol se dessèche bien au-delà de l'humidité correspondant au point de flétrissement permanent estimé en laboratoire (BIROT, GALABERT, 1969 ; ROOSE - BIROT 1970). Les eaux infiltrées devront donc recharger d'autant plus le profil pour permettre au front d'humectation de descendre et à l'eau libre de circuler. Pour évaluer le drainage, nous aurons besoin d'une estimation de la différence des stocks d'eau du sol à l'état sec (fin mars mi-avril) et du profil à capacité aux champs.

Dans le rapport précédent la différence de stock entre les profils humides (3/9/69) et et sec (4/4/68) s'élevait à 183 millimètres pour l'ensemble du profil dont 44 % (80 mm) dans les 50 premiers centimètres, 80 % (146mm) dans le 1er mètre, la réserve hydrique n'ayant guère changé au-delà de 150 centimètres de profondeur.

Au tableau 3.4., pour les humidités des profils secs et à capacité au champs, on a tenu compte de l'ensemble des mesures de terrain ainsi que des expériences de dynamique de l'eau effectuées à proximité immédiate de la case ERLO. Il apparaît que la différence de stocks hydriques est à peine plus élevée (194 millimètres) mais sa répartition diffère légèrement : 39 % (soit 76 mm) dans les 50 premiers centimètres, 70 % (136mm) dans le premier mètre. Le pseudogley n'a que rarement été humecté jusqu'à la cuirasse durant ces années plus ou moins déficitaires, aussi avons nous eu recours à des essais d'irrigation et de dynamique de l'eau en dessous de 100 cm. pour estimer leur possibilité d'humectation. Par contre les horizons superficiels étaient légèrement engorgés le 3/9/69.

L'étude des profils hydriques prélevés au milieu de la saison des pluies et après la fin de la période pluvieuse montre que le profil s'humecte rarement entièrement jusqu'à la cuirasse et qu'il se dessèche très rapidement : un mois après les dernières pluies utiles, seuls les horizons sableux (35 cm) ne sont pas revenus à des humidités inférieures au point de flétrissement. Les réserves s'épuisent donc rapidement ce qui entraîne le flétrissement permanent de la strate herbacée. Il est remarquable dans ces conditions de constater que les arbres tels que Butyrospermum Parkii, Parkia biglobosa, Combretum, Terminalia glaucescens et bien d'autres ne perdent pas toutes leurs feuilles (sauf en cas de feu de brousse) et produisent généralement des bouquets de jeunes feuilles avant le retour des pluies. BIROT et GALABERT (1970) ont d'ailleurs mesuré une évapotranspiration de l'ordre de 1 millimètre par jour pendant la saison sèche dans une plantation d'Eucalyptus âgée de 3 ans à proximité de notre parcelle. Certains auteurs semblent admettre un renversement des flux d'eau dans certaines plantes lorsqu'au cours de la nuit, l'humidité relative de l'air augmente alors que la tension hydrique du sol est très élevée.

Ces observations sur l'évolution des profils hydriques au cours des saisons aboutissent à des conclusions semblables à celles d'AUDRY (1967) travaillant à DILBINI au TCHAD sur des sols ferrugineux tropicaux faiblement lessivés (plus sableux). D'une part, l'épaisseur du profil mouillé max. sous une savane arborescente à Sclerocarya birrea et Combretum glutinosum atteint 2 mètres pour les années pluvieuses (650 millimètres) et la nappe phréatique ne peut être alimentée sous une telle pluviométrie à moins de réduire la végétation.

D'autre part, le stock d'eau du sol à réalimenter étant croissant avec la profondeur, les chances de passage du front d'humectation sont d'autant plus faibles que les horizons sont plus profonds. Autrement dit le drainage diminue en profondeur ainsi que les risques de lixiviation des bases et de lessivage des argiles ;

Tabl. 3.4. propriétés physiques et hydrodynamiques du sol de la parcelle ERLO à GONSE

(résumé des essais durant les campagnes 1968-75)

Profondeur cm	horizons	filtration K Vergièrè mm/h	densité app. Vergièrè da	densité réelle dr	porosité			Humidité du sol			résèrve hydrique terrain (mm)	cumulée (mm)
					totale	micro	macro	Hp sol sec %	cap champ terrain	H% max Obs. sat.		
0-10	gris sableux 0-10	14 à 22	1,59	2,50	36,4	12,9	23,5	2,0	13,0	14,5	17,5	17,5
10-90	beige	3 à 5	1,74	2,49	30,1	17,1	13,0	3,3	13,3	14,8	17,4	35
20-40	sableux 10-35							5,1	13,4	14,8	28,9	64
40-60	Ocre argilo	3 à 11	1,70	2,50	32,0	24,6	7,4	7,1	14,4	15,7	24,8	89
60-75	sableux 35-75							7,8	15,0	15,8	18,4	107
75-80	pseudo	11 à 22	-	2,47	28,1	27,3	0,8	7,8	15,0	15,8	6,3	113
80-100	gley		1,76	28,5	26,9	1,6	8,4	14,5	15,4	21,5	135	
100-120	argileux 75-140		2,46	8,0	13,3	13,4	18,7	174				
140	gley	-	2,00	2,64	12,4	12,4	0	8,0	12,0	13,4	16,0	190
140-160	gravill.		2,19	12,4	7,2	9,0	11,6	190				
160-170	140-170		3,9	194								

mais nous ne suivrons pas AUDRY sur ce dernier point car les charges en colloïdes des eaux de drainage sont très faibles pratiquement dès la surface du sol (en-dessous de la pellicule de battance). (voir 5.3).

3.1.6 L'évapotranspiration potentielle

"L'E.T.P d'un couvert végétal représente la quantité d'eau maximale susceptible d'être évaporée par un couvert végétal abondant, couvrant bien le sol, en phase active de croissance et alimentée en eau de façon optimale". (ELDIN, 1971).

L'E.T.P mensuelle a été calculée par ELDIN selon la formule de TURC pour le poste OUAGADOUGOU aéro de 1953 à 69 d'après les données de l'ASECNA. (voir tabl. 3 p 131 du précédent rapport).

Tabl. 3.5 E.T.P (Turc) mensuelle en année moyenne, humide et sèche (Pluie = 850 \pm 200mm)
Poste OUAGADOUGOU aéro, (d'après ELDIN, 1970)

Tabl. 3.5	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Total
Moyenne													
ETP mens	187	188	216	178	155	136	129	116	126	149	165	160	1905
ETP journ	6,0	6,5	7,0	5,9	5	4,5	4,2	3,7	4,2	4,8	5,5	5,2	5,2
Ann. sèche													
ETP 1963	196	180	238	187	153	148	146	131	136	140	186	192	2033
Ann. humi.													
ETP 1964	182	182	217	197	159	143	131	110	118	157	170	132	1898
Ann. humi.													
ETP 1955	178	171	194	143	143	106	97	116	115	144	162	125	1694

Au tableau 3.5 les valeurs de l'ETP (Turc) mensuel sont reportés en moyenne pour les valeurs disponibles de 1953 à 1969, pour une année sèche (Pluie 1963 = 647 mm) et deux années humides (Pluies 1955 = 1040 mm : Pluie 1964 = 1055 mm). On constate que l'E.T.P en saison humide dépend de la hauteur mensuelle des pluies : c'est en août que l'E.T.P est généralement la plus faible et pour des mois semblables c'est l'année où il pleut le plus que l'E.T.P sera la plus faible également.

Si l'on compare les années humides (Pluie = 1054 et 1044 mm), on constate 200 mm de différence d'ETP dont seulement 31 mm pour les mois de juillet à septembre mois durant lesquels risque de se produire du drainage. Si on compare l'ETP de juillet à septembre en années sèches et humides on trouve que durant l'année sèche l'ETP est à peine supérieure à celle des années humides (54 à 85mm). Cela influencera donc peu le bilan hydrique. L'évapotranspiration potentielle reste forte (4 à 5 mm/jour) en pleine saison des pluies dans ces zones tropicales sèches ; il n'en va pas de même en zone tropicale humide où l'ETP diminue jusqu'à 1 - 2 mm/jour en saison des pluies.

31.7. Bilan hydriques mensuels et annuels d'après les observations de terrain.

Au tableau 3.6 sont réunis les résumés annuels des bilans calculés à partir des observations mensuelles de pluie et de ruissellement à la parcelle ERLO de GONSE sous savane arborée.

Le drainage est considéré comme la différence entre (la pluie) d'une part et (ruissellement + ETP) d'autre part. Il apparait ainsi qu'en saison sèche il n'y a pas de potentialité de drainage car (Pluie - Ruiss) est inférieur à (ETP). Par contre en saison humide, ETR peut être considéré comme voisin de l'ETP et le drainage égale la différence entre (Pluie) moins (Ruiss + ETP) aux variations du stock d'humidité du sol près. Après l'arrêt des pluies, l'ETR n'est pas nulle car les plantes puisent l'eau dans les réserves du sol et le sol évapore au-delà du point de flétrissement permanent ; il faut donc ajouter la différence de stock d'eau lorsque le profil est à capacité au champ moins le stock lorsque le sol est desséché (en fin de saison sèche). De même, avant de percoler à travers le profil, les eaux d'infiltration doivent ramener l'humidité du sol à la capacité au champs : il faut donc soustraire au drainage cette variation du stock.

En faisant ces calculs à l'échelle mensuelle, nous sous-estimons légèrement le drainage au cas où surviennent des averses exceptionnelles ou une succession de pluies rapprochées.

Le tableau 3.6 montre que le drainage fut très faible durant ces années plus ou moins largement déficitaires. Il fait ressortir également l'influence déterminante des feux de brousse (et donc du couvert végétal) non seulement sur le ruissellement, mais aussi sur l'ETR et sur le drainage (se référer à la ligne drain-vert-non corrigé) ; en effet si le feu est tardif, la végétation couvre mal et tardivement le sol de telle sorte que le ruissellement augmente tandis que ETR et le drainage diminuent.

Tableau 3.6 Bilans hydriques estimés à partir des données mensuelles de pluie, ruissellement et ETP à la parcelle ERLO de GONSE (savane)

Tabl. 3.6	Feux précoces		Protec. intégrale			Feux tardifs		Moyenne 68/74
	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	
ETP (Turc) mm	1938	1951	1927	1960	1952	1996	1988	1959
Pluies	809	759	799	674	691	553	596	697
Ruis. mm	23,7	17,1	2,9	1,5	62	89	89	41
%	(2,9)	(2,3)	(0,3)	(0,2)	(9)	(16,1)	(14,9)	(5,8)
ETR mm	786	729	747,1	672,5	629	464	507	648
Corrigé %		(96)	(93,5)	(99,8)	(91)	(83,9)	(85,1)	(93)
Drain. v mm	0	0	49	0	0	0	0	9
Corrigé %			(6,1)					(1,2)
DV non Corr. (mm)	64	173	243	153	25	0	75	75

Réserve hydrique du sol = 194 millimètres.

Les observations durant les années 1968 à 1974 nous amènent à conclure que, pour des précipitations de l'ordre de 550 à 750 millimètres, la percolation à travers tout le profil pédologique et la recharge des nappes profondes sont extrêmement réduits. C'est là une conclusion importante pour comprendre l'évolution des sols en zone tropicale sèche. En effet, contrairement aux sols ferrallitiques des zones tropicales humides qui sont traversés par un flux abondant d'eau infiltrée lixivante et lessivante, les sols des zones tropicales sèches ne sont humectés que sur une profondeur limitée du profil (0,5 à 1,5 mètre). Par conséquent, il est clair, comme le soulignait AUDRY au TCHAD (1967) que plus les horizons sont profondément enfouis dans le profil et moins ils ont de probabilité statistique d'être traversés par le front d'eau libre et d'être soumis au pouvoir lixiviant et lessivant des eaux d'infiltration. A la limite, on pourrait concevoir un horizon B illuvial dont les propriétés physico-chimiques ne diffèrent guère de celles des horizons A éluviaux (le pouvoir flocculant des solutions infiltrées est semblable) mais qui serait simplement le dernier horizon à être mouillé régulièrement par le front d'eau d'infiltration chargée en solubles et en colloïdes.

L'eau se retirant ensuite lentement (film d'eau sous tension en évaporation directe) laisse en place les ions les plus gros et les moins solubles en particulier les colloïdes. Nous verrons plus loin si les eaux d'infiltration arrivent suffisamment chargés dans les horizons "illuviaux" pour expliquer leur différence de texture vis-à-vis des horizons superficiels "appauvris" en fines.

La hauteur annuelle des précipitations définit assez mal finalement les risques de drainage. Il pourrait arriver en effet qu'une averse rare et surtout une succession d'averses rapprochées amènent les eaux d'infiltration profondément à l'intérieur du profil alors que le calcul à l'échelle du mois masque ces phénomènes. Pour éviter ce risque, il faut calculer le stock après chaque pluie. Nous l'avons fait pour six années (1968 à 1973 voir tableau 3.7) en estimant l'ETP journalier comme la moyenne de l'ETP mensuelle, faute de données plus précises. En 1968, le stock d'eau du sol n'a dépassé qu'à deux reprises la valeur nécessaire pour amener les 50 premiers centimètres à capacité au champs (stock sol sec + 76 mm) ; le front n'a jamais atteint 1 mètre. En 1972 et 73, le front humide n'a même pas atteint 50 centimètres de profondeur. Les autres années, le front humide atteint 50 centimètres vers le 15 juillet, 100 centimètres vers le début août et le profil ne s'humecte entièrement qu'en septembre.

L'analyse du tableau 3.7 montre que dans les conditions d'expérimentation de la savane de GONSE durant les années déficitaires de 1968 à 73, le drainage est très réduit ($D_v = 68$ mm sur 50 cm, 27 mm sur 1 mètre et 14 mm sur tout le profil), quelle que soit ^{la} méthode d'estimation. Cependant l'estimation du drainage est légèrement plus forte à partir des données journalières qu'à partir des données mensuelles, comme on pouvait s'y attendre. Le drainage en lysimètre est légèrement inférieur aux estimations calculées mais cela s'explique par l'état encroûté du sol sur la surface des lysimètres en 1968 et 69 : le ruissellement a du y être très fort, beaucoup plus que dans la savane voisine (feux précoce). Les différences entre méthodes sont suffisamment faibles pour qu'on tente de généraliser le schéma de bilan hydrique estimé à partir des données mensuelles (disponibles pour toutes les stations de l'ASECNA) pour une année moyenne, une année sèche (Pluie moyenne moins 200 mm) et une année humide (P moyen + 200 mm)

Tabl.3.7 Comparaison des estimations du drainage à la savane arborée de GONSE (1968-73)

année	1968	1969	1970	1971	1972	1973	Moyenne
1) Estim. mens.							
D.V non corrigé	64	173	243	153	25	0	110
D.V corrigé (50cm	0	97	167	77	0	0	57
(100	0	37	107	17	0	0	27
(180	0	0	49	0	0	0	8
2) Estim. journ.							
D.V corrigé (50cm	4	150	224	157	0	0	89
(100	0	56	147	97	0	0	50
(180	0	21	76	20	0	0	20
3) Lysimètre non corrigé							
D.V (50 cm	*	*	123-111	154-140	48-36	0-(?)	51
(100 cm	0	0	6	17	0	6,4	5
D.V lys.corrigé (Ruiss.)							
D.V lys. (50 cm	0	0	120-109	150-137	0	0	43
- Ruiss (100 cm	0	0	3,5	15	0	0	3
Pluie	809	759	799	661	698	553	713
ETP	1938	1951	1927	1960	1952	1996	1954
Ruiss.	24	17	2,5	1,5	62	89	33

- Variations du stock du sol = 76 mm sur 50 cm ; 136 mm sur 100 cm et 194 mm sur tout le profil (180 cm).

- * En 1968 et 69, il y eut probablement un fort ruissellement sur la surface nue et dégagée des lysimètres.

Tableau 3.8. Schémas de bilans hydriques en année moyenne, humide (1955) et sèche (1963) dans la région de OUAGADOUGOU.
 - savane arborée, pente 1 % Ruiss. 2,5 % - 5 - 2 % - Pluie 860 mm - 200 mm.

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	mm	Total %
Année moyenne	Savane arborée K Ruiss = 2,5 % réserve = 194 mm													
Pluies mm	0	0	1	19	81	116	191	264	151	37	0	0	860	100
ETP "	187	188	216	178	155	136	129	116	126	149	165	160	1905	
Ruiss. "	0	0	0	0	2,5	3	5	7	4	0	0	0	21,5	2,5
ETR brut corrigé	0	0	1	19	78,5	113	129	116	126	37	0	0	619,5	72,0
										149	82	0	813,5	94,6 %
DV brut corrigé	0	0	0	0	0	0	57	141	21	0	0	0	219	25,5
	Δ stock de 194 mm il reste donc 219-194 mm = 25 mm de drainage susceptible d'alimenter la nappe												25	2,9 %
Année humide (Moyenne + 200mm)	1955 Pluie = 1040 mm Ruiss. = 2,5 % ETP = 1694 mm													
Pluie mm	0	2	11	5	132	137	230	159	258	106	0	0	1040	100 %
ETP "	178	171	194	143	143	106	97	116	115	144	162	125	1694	163 %
Ruiss. "	0	0	0	0	7,0	7	12	8	13	5			52	5 %
ETR brut corrigé	0	2	11	5	125	106	97	116	115	101	0	0	678	65,2
										144	151	0	870	83,8
DV brut corrigé	0	0	0	0	0	24	121	35	130	0	0	0	310	29,8 %
	Δ stock = 194 mm il reste 116,0 mm soit 11 %												116 mm	11,2 %
Année sèche (Moyenne - 200 mm)	1963 Pluie = 657 mm Ruiss. = 2 % ETP = 2033 mm													
Pluie mm	0	0	0	30	45	86	144	218	78	56	0	0	657	100 %
ETP "	196	180	238	187	153	148	146	131	136	140	186	192	2033	309 %
Ruiss. "	0	0	0	0	1	2	3	5	1	1	0	0	13	2 %
ETR brut corrigé	0	0	0	30	44	84	141	131	77	55	0	0	562	85,5 %
									136	78	0	0	644	98 %
Drain. V brut corrigé	0	0	0	0	0	0	0	82	0	0	0	0	82	12,5
	Δ stock = 194 mm il reste 0 mm												0	0 %

Tableau 3.9. Schémas de bilans hydriques en année moyenne, humide (1955) et sèche (1963) dans la région de OUAGADOUGOU.
 - faible végétation ou culture traditionnelle (mil sogho arachide) Ruissellement 25 % - 30 - 20 Pluie 860 mm⁺200 mm
 Variations du stock sur 50 cm = 76 millimètres d'eau.

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	mm	Total %
Année moyenne														
Pluies mm	0	0	1	19	81	116	191	264	151	37	0	0	860	100
ETP "	187	188	216	178	155	136	129	116	126	149	165	160	1905	
Ruiss.	0	0	0	3	22	29	48	66	38	9	0	0	215	25
ETR Brut	0	0	1	16	59	87	129	116	113	28	0	0	549	63,8
Corrigé													76=625	72,7 %
DV. Brut	0	0	0	0	0	0	14	82	0	0	0	0	96	11,2 %
Corrigé	‡ stock sur 50 cm = 76 mm. DV. corrigé = 20 mm soit 2,3 %												76	2,3 %
													20	
Année humide	= 1955 Pluie = 1040 mm. Ruiss. = 30 % ETP = 1694 mm													
Pluies mm	0	2	11	5	132	137	230	159	258	106	0	0	1040	100 %
ETP "	178	171	194	143	143	106	97	116	115	144	162	125	1694	163 %
Ruiss. "	0	0	3	0	41	42	70	48	77	31	0	0	312	30 %
ETR Brut	0	2	8	5	91	95	97	111	115	75	0	0	599	57,6 %
Corrigé										144	7mm		675	64,9 %
DV Brut	0	0	0	0	0	0	63	0	66	0	0	0	129	12,4 %
Corrigé	‡ stock = 76 mm DV corrigé = 129-76 = 53 mm = 5,1 %												53 mm	5,1 mm
Année sèche	1963 Pluie = 657 mm Ruiss = 20 % ETP = 2033 mm.													
Pluies mm	0	0	0	30	45	86	144	218	78	56	0	0	657	100 %
ETP "	196	180	238	187	153	148	146	131	136	140	186	192	2033	309 %
Ruiss. "	0	0	0	6	9	17	29	44	16	11	0	0	132	20 %
ETR (brut	0	0	0	24	36	69	115	131	62	45	0	0	482	
(corrigé													+43	80 %
													525	
DV (brut	0	0	0	0	0	0	0	43	0	0	0	0	43	6,8 %
(corrigé	‡ stocks = 76 mm DV corrigé = 43-76 = 0 mm												0	0 %

STOCK D'EAU UTILE
mm

PROFONDEUR
cm

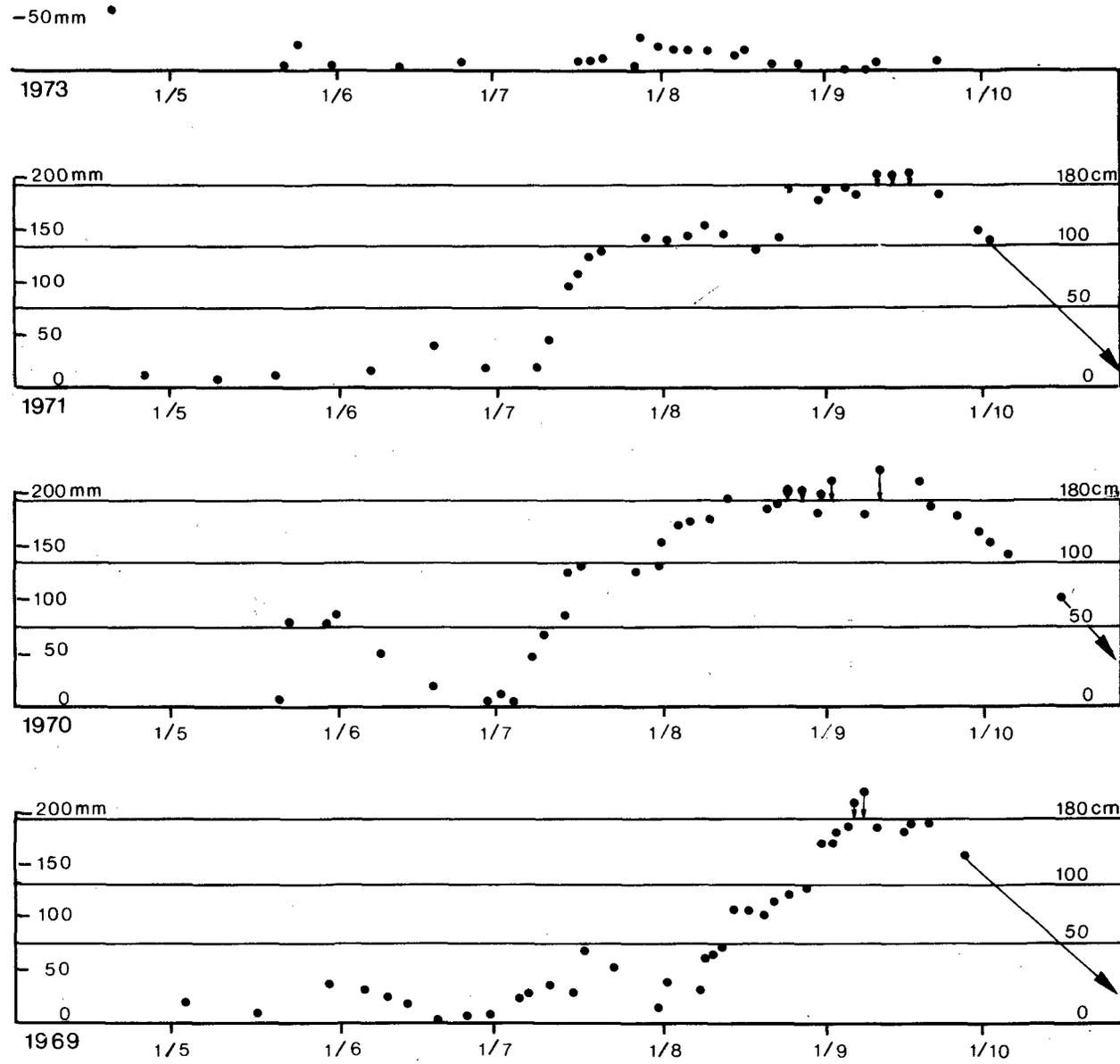


Fig. 3.1 - ÉVOLUTION DU STOCK D'EAU UTILE (GONSE, 1969 - 1970 - 1971 - 1973)

3.2 SCHEMAS DE BILANS HYDRIQUES MOYENS ET EXTREMES

Les bilans hydriques évalués au paragraphe précédent ont été observés sur le terrain pendant 7 années déficitaires par rapport à la moyenne régionale. Il serait utile de généraliser ces observations à des conditions climatiques moyennes et extrêmes pour la région de OUAGADOUGOU dans le cas des savanes arborées brûlées précocement et dans le cas des cultures traditionnelles mil-sorgho-arachide.

Pour ce faire, on évalué mois par mois chacun des termes de l'équation générale. Pluie = Ruiss. + ETR + Drain. \pm Var-stock du sol-(éq. 1)

La pluie = (moyenne sur 30 ans = 860 mm et les extrêmes = moyenne \pm 200 mm.

(année sèche = 1963 = 657 mm.

(année humide = 1959 = 1040 mm.

Le ruissellement est évalué à 2 - 2,5 et 5 % pour les savanes en année sèche, moyenne et humide. Pour les cultures (voir CAMPELA : CTFT, 1972) on admet des ruissellements de 20 - 25 et 30 % des pluies.

L'ETP est évaluée selon la formule Turc ; moyenne de 1953 à 1969 (= 1905 mm)

en année sèche (1963) l'ETP = 2033 mm.

en année humide (1965) l'ETP = 1694 mm.

L'évapotranspiration réelle (ETR) est estimée en période sèche comme la différence de la pluie moins la lame ruisselée et en période humide comme voisine de l'ETP.

Tabl. 3.10 Schéma bilans hydriques	Savane arborescente			Cultures traditionnelles		
	années			années		
	sèche 1963	moyenne	humide 1955	sèche 1963	moyenne	humide 1955
Précipitations	657	860	1040	657	860	1040
ETP (Turc)(mm)	2033mm	1905 mm	1694 mm	2033 mm	1905 mm	1694 mm
(%)	(309) %	(222)	(163)	(309)	(222)	(163)
Ruiss.(mm)	13 mm	21,5 mm	52 mm	132 mm	215 mm	312 mm
(%)	(2)	(2,5)	(5)	(20)	(25)	(30)
ETR corrigé(mm)	644 mm	813 mm	872	525 mm	625 mm	675
(%)	(98)	(94,6)	(83,8)	(80)	(72,7)	(64,9)
Drain. Corrigé						
(mm)	0	25 mm	116	0	20 mm	53 mm
(%)		(2,9 %)	(11,2)		(2,3)	(5,1 %)

voir tableaux 3.8 et 3.9 en annexe.

L'analyse des bilans du tableau 3.10 montre que lorsque les précipitations augmentent de 380 millimètres autour de la moyenne régionale, le ruissellement sous savane en consomme 10 %, l'ETR 60 % et le drainage corrigé 30 %. Sous culture, le ruissellement participe pour 47 % à cette augmentation l'ETR pour 39 % et le drainage pour 14 %. Dans ces zones sèches l'augmentation des précipitations profite surtout à l'évapotranspiration (donc à la croissance des plantes) ou au ruissellement si le sol est mal couvert.

Les aménagements antiérosifs de ces régions sèches et peu pentues ont donc beaucoup de chances d'améliorer le rendement des cultures pourvu qu'ils visent à éliminer les pertes d'eau considérables par ruissellement fréquentes dans les cultures traditionnelles.

En ce qui concerne l'alimentation des nappes, elle reste négligeable en année moyenne. En année excédentaire sous culture, l'excédent profite surtout au ruissellement (et à l'ETR) si bien que l'alimentation des nappes est encore moins favorable sous culture que sous végétation naturelle.

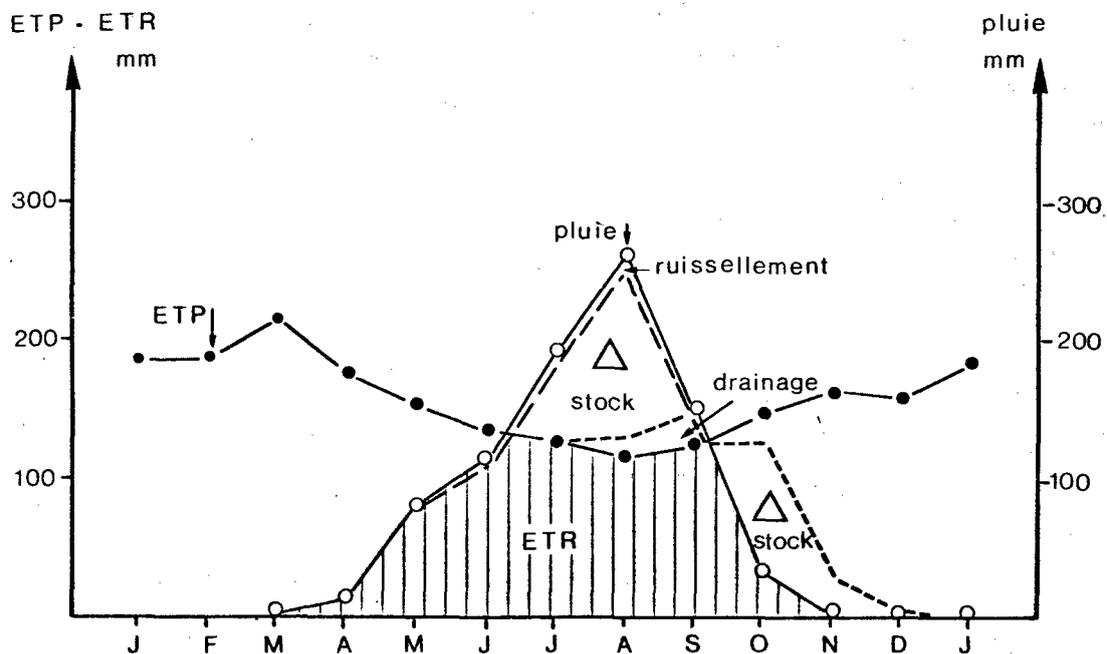
3.3 CONCLUSIONS SUR LES BILANS HYDRIQUES

Durant les sept années d'observation, les précipitations furent plus ou moins largement déficitaires ($P = 553$ à 809 mm) par rapport à la moyenne sur 40 ans (860 mm). Si l'ampleur des phénomènes de ruissellement et de drainage s'en ressent forcément, il y eut cependant des averses et des successions d'averses suffisamment fortes pour provoquer des ruissellements de l'ordre de 50 - 60 % et du drainage sur l'ensemble du profil.

Les mesures de terrain ont souligné l'influence dominante de l'époque des feux de brousse - et donc du couvert végétal - sur le ruissellement. Celui-ci passe de moins de 1 % des pluies si la protection est intégrale à plus de 15 % en cas de feu tardif et peut dépasser 50 % lors des averses exceptionnelles. Les expérimentations sur les cultures traditionnelles effectuées par le C.T.F.T. à GAMPELA, (situé à quelques km de GONSE) montrent également l'importance du ruissellement (10 à 45 % des pluies) sur ces glacis à pente très douce. Des techniques culturales simples doivent être mises en place pour juguler ces pertes d'eau intolérables dans ces régions où la carence principale des cultures est la carence hydrique avant même les carences azotées et phosphorées. (ROOSE, 1976).

Dans ces conditions, les aménagements antiérosifs qui favorisent une infiltration totale des eaux (sans engorgement) amènent nécessairement une amélioration des rendements, surtout en année sèche.

Fig. 3.2 - SCHEMA DE BILAN HYDRIQUE POUR LA REGION DE OUAGADOUGOU



	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total	
Pluie mm	0	0	1	19	81	116	191	264	151	37	0	0	860 mm	%
ETP	187	188	216	178	155	136	129	116	126	149	165	160	1905 mm	222
Ruiss.	0	0	0	0	2	3	5	7	4	0	0	0	21 mm	2,5
ETR brut	0	0	1	19	79	113	129	116	126	37	0	0	620 mm	72
ETR corrigé	0	0	"	"	"	"	"	"	"	149	82	0	814 mm	94,6
Drain brut	0	0	0	0	0	0	57	141	21	0	0	0	219 mm	25,5
Drain corrigé	0	"	"	"	"	"	0	4	21	0	0	0	25 mm	2,9

d'après les données de l'ASEGNA

Durant ces années déficitaires, le drainage observé (ou estimé) fut réduit : en moyenne 68 mm drainent au-delà de 50 cm de profondeur, 27 mm vers 100 cm et 14 mm à travers tout le profil (180 cm). Durant plusieurs années la réserve hydrique du sol n'a même pas été reconstituée jusqu'à 1 mètre de profondeur (1968-72-73) : le pseudo-gley n'est donc pas forcément actuel. Des averses rares et surtout des successions d'averses moyennes peuvent entraîner des infiltrations substantielles en profondeur dans le profil. Comme la pente du terrain et la porosité des horizons profonds sont faibles, les nappes perchées circulent mal le long de la toposéquence, ce qui pourrait expliquer la présence de taches de sols assez riches en argiles gonflantes et la répartition en mosaïque de sols à hydromorphie et cuirassement d'importance variable.

S'il est établi que les horizons de surface sont soumis plus souvent et de façon plus intense au front d'eau libre lixivante et lessivante que les horizons profonds, les volumes de drainage restent nettement moins importants qu'en zone tropicale humide. Ceci tient d'une part aux pluies qui sont moins importantes et d'autre part au potentiel d'évapotranspiration de l'air qui est nettement plus élevé en zone tropicale sèche. Il semble par ailleurs que la faiblesse des pentes et les caractéristiques propres aux sols ferrugineux tropicaux (battance de la surface) favorisent le ruissellement.

Il reste maintenant à examiner les conséquences de ce bilan hydrique sur la lixiviation des éléments nutritifs, l'appauvrissement des horizons superficiels et le lessivage des colloïdes en profondeur.

CHAPITRE 4. SCHEMA DE BILAN GEOCHIMIQUE.

Dans ce chapitre nous tenterons de chiffrer, ne fut ce que grossièrement, l'importance des différents postes intervenant dans le bilan des migrations, afin d'en tirer des conclusions sur l'orientation actuelle de la pédogenèse. Pour ce schéma de bilan, nous aborderons successivement :

- les apports par les pluies,
- les pertes par érosion et drainage,
- les immobilisations dans le sol et les végétaux.

4.1. Eléments du bilan.

4.1.1. Les apports par les précipitations.

Tabl. 4.1. Comparaison des caractéristiques chimiques des pluies et des apports par les précipitations sur le plateau MOSSI (SARIA) et en basse COTE d'IVOIRE (ADIOPODOUME).

Tabl. 4.1.	Ca	Mg	K	Na	C	N tot.	PO ₄	FE ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Si O ₂	SO ₁	cl.
SARIA(72-74)												
teneurs (ppm)	2,14	0,31	0,39	0,12	1,3	0,63	0,77	0,03	0,04	0,64	1,57	0,32
apports (kg/ha/an)	18,4	2,7	3,4	1,0	11,2	5,4	6,6	0,3	0,3	5,5	3,5	2,8
P = 860 mm												
ADIOPODOUME (70-72)												
teneurs (ppm)	1,9	0,45	0,25	0,96	1,5	1,34	0,45	-	-	-	1,5	3,14
apports (kg/ha/an)	39,9	9,5	5,3	20,2	31,5	28,1	9,4	-	-	-	31,5	65,9
Pluie= 2100mm												

Des échantillons d'eau de pluie ont été récoltés de 1972 à 74 dans des bacs ($\frac{1}{2} \times 1 \text{ m}^2$) recouverts d'une feuille plastique au Centre de Recherches Agronomique de SARIA sur le plateau MOSSI à une centaine de Km à l'Ouest de GONSE. Sur place, les pluies ont été filtrées, stabilisées au P.H.B.M., stockées à l'abri de la lumière et des fortes chaleurs et envoyées pour analyse au laboratoire Central de l'O.R.S.T.O.M à ADIOPODOUME.

Les bacs étant lavés après chaque pluie, les analyses rendent compte non seulement de la charge soluble des précipitations mais aussi de la fraction soluble des poussières qui ont pu se déposer entre deux averses.

Les teneurs observées à SARIA, à près de 1000 Km de la côte, et à ADIOPODOUME à 12 Km de la mer (ROOSE, 1974) sont très voisines sauf en ce qui concerne le sodium, l'azote total et les chlorures qui sont évidemment plus fortes près de la mer (voir tabl. 4.1.). Par contre calcium, potassium et surtout phosphates sont légèrement plus concentrés dans les eaux de pluie d'origine continentale.

Calculés en fonction des précipitations moyennes de la région ($P = 860\text{mm}$), les apports en calcium (18,4 kg/ha/an), potassium (3,4 kg), azote (5,4 kg) phosphate (6,6 kg de PO_4) et sulfate (13,5 kg de SO_4) ne sont pas tout à fait négligeable. Au contact du feuillage des arbres et des graminées, les eaux de pluies se chargent en certains cations et perdent certains éléments : mais ces échanges n'interviennent qu'au niveau des cycles internes et nous n'en parlerons que dans le rapport de synthèse sur les expérimentations effectuées à SARIA.

Etant donné le volume des précipitations, les apports par les pluies sont 2 à 20 fois moins élevés à GONSE qu'en COTE d'IVOIRE. Par ailleurs, les premières pluies sont souvent plus riches que les suivantes car elles sont accompagnées de bourrasques violentes qui chargent l'atmosphère en poussières (cendres des derniers feux de brousse et particules terreuses).

41.2. Les remontées biologiques

Ce terme désigne généralement la concentration des éléments nutritifs et des colloïdes à la surface de l'horizon superficiel du sol par l'action de la flore ("pompage" des éléments libérés par l'altération en profondeur et libération des éléments nutritifs par minéralisation des résidus végétaux, litières, etc...) et de la faune (construction d'édifices épigés à partir de matériaux fins et peu altérés puisés en profondeur puis étalés en surface par érosion).

Dans le cas de GONSE, la zone d'altération des granites est totalement séparée de la couche de sol étudiée par une carapace compacte et imperméable qui forme un obstacle quasi infranchissable aux racines ; il n'y a donc pas d'apport réel possible par remontée biologique. Par contre, il s'y passe un brassage continu des horizons sableux et des remontées à partir du sommet des horizons argileux. Ce point sera abordé plus loin dans le chapitre sur le bilan minéral colloïdal. Nous l'évoquerons également au paragraphe 41.6 sur les immobilisations dans les végétaux.

41.3. Les résultats analytiques concernant les eaux de ruissellement et de drainage.

De 1968 à 1974, 157 échantillons d'eau (dont 23 de drainage oblique et 42 de drainage vertical) ont été analysés au laboratoire O.R.S.T.O.M. d'ADIOPODOUME. Tous les résultats ont été consignés sur fiche par pluies individuelles. Il existe deux jeux de ces fiches et nous ne présenterons ici que les résumés des moyennes pondérées * en fonction des volumes des échantillons, moyennes regroupées par traitement (feux hâtifs 1968-69 ; protection intégrale 1970-71 ; feux tardifs 1972 à 74). Les résultats analytiques étant relativement peu différents en fonction des traitements et pas assez nombreux pour les dissocier de façon significative, nous les avons regroupés en deux tableaux 4.2 et 4.3 donnant les moyennes pondérées pour l'ensemble de la période d'observation et le domaine de variation.

Les échantillons furent récoltés sur le terrain le jour de l'averse ou dans les 48 heures. Ils furent ensuite stockés au laboratoire à l'abri de la lumière et des fortes températures. Les délais d'analyse ont varié entre 2 et 4 mois, ce qui, d'après nos essais, n'entraîne pas d'évolution importante des propriétés chimiques à part les bicarbonates (pas fait), le pH (tendance à neutralisation) et les formes de l'azote (nous ne discuterons que de l'azote total = $N - NO_3 + NH_4 + \text{Norganique}$) à condition de respecter les précautions prévues ci-dessus et de transporter les échantillons dans des flacons en plastique remplis à ras bord et parfaitement bouchés.

Les méthodes analytiques ont été décrites par NALOVIC puis par GOUZY (1974).

Dans ce paragraphe, nous tenterons de discuter des caractéristiques moyennes des eaux de ruissellement et de drainage et de leurs variations saisonnières, interannuelles, en fonction des traitements ou du niveau de collecte des échantillons dans le sol. Nous situerons ces résultats par rapport à ceux que nous avons obtenus par les mêmes méthodes en zone tropicale humide de COTE d'IVOIRE. Notons enfin que les médianes et moyennes arithmétiques sont des caractéristiques qui n'ont guère de sens ici puisque les teneurs peuvent évoluer fortement durant la saison des pluies en fonction du volume des écoulements.

$$* \text{ mp} = \frac{\text{somme (teneur x volume)}}{\text{somme des volumes}}$$

41.31 La température, le pH et la résistivité.

La température ayant été mesurée quelques heures après la fin des écoulements, les observations sont faussées par excès car l'air est toujours plus chaud que la pluie. Cependant, après avoir écarté les observations trop tardives, il apparaît que la température des eaux de ruissellement et de drainage ne varie guère au-delà de 22 à 30° centigrades.

Tableau 4.2.

EAUX GONSE 1968-74

N° labo E -	92	9	3	1	4	6	18	21	3
N° pédo	G01	G1	G2	G3	G4	G5	GDVI	2	3
Volume (litre)	63.894	90,8*	66,4*	60 *	121,9*	165,8*	131,9	147,6	28,1
t° sur le terrain (C)	-	-	-						
résistivité (Ω /cm à 20°C)	31.790	29.870	32.027	21.680	25.400	15.720	22.270	26.770	36.570
pH	6,4	7,1	6,8	6,5	6,7	6,4	7,0	6,7	7,0
Ca (mg/l)	4,95	3,89	4,10	4,40	6,98	7,73	6,93	5,92	4,56
Mg "	0,75	0,73	0,75	1,05	1,47	1,62	3,39	2,62	1,91
K "	1,85	1,74	1,75	1,80	2,98	3,71	1,79	1,67	1,95
Na "	0,19	0,61	0,60	1,10	0,94	1,04	1,77	1,90	1,50
Mat. Org. (0 mg/l)	3,21	3,19	2,90	2,25	4,33	4,67	1,95	1,90	3,50
N - total (mg/l)	2,75	3,42	1,43	1,75	2,23	2,38	4,63	4,41	4,31
N - NH4 "	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N - NO ₃ "	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO ₄ "	0,99	0,94	0,70	0,15	0,56	2,03	0,57	0,34	0,31
Fe ₂ O ₃ "	0,10	0,47	0,09	0,01	0,07	0,13	0,18	0,15	0,05
Al ₂ O ₃ "	0,08	0,49	0,14	0,05	0,06	0,07	0,22	0,28	0,01
SiO ₂ "	3,90	7,02	2,65	3,40	4,30	6,53	10,98	13,73	8,97
Turbidité gr/l									
Terre de fond kg/ha									
Cl mgr/l.	0,73	0,50	0,25	0,25	0,69	0,92	1,52	1,60	2,96
SO ₄	1,3	3,6	2,5	5,9	5,4	6,3	6,0	8,2	2,9

Tableau 4.3. Caractéristiques des eaux de ruissellement et de drainage.
- Savane arborescente de GONSE : 1968-74.

	Teneur pondérée (mgr/l)			Valeurs fréquentes (mgr/l.)			Variation
	Ruiss.	Drainage h. Sup.	Drainage h. inf.	Ruiss.	Drainage hor.	Drainage	
T°	-	-	-	23 à 27	25 à 28	26 à 27	22 à 30°
pH	6,4	7,0	6,6	6 à 7,3	6,5 à 7,5	6 à 7,2	5,5 à 7,6
Résist.	31.800	27.700	25.900	15 à 45.000	3 à 30.000	2 à 27.000	1000 à 85.000
Ca ppm	4,9	4,8	7,3	1 à 8	3 à 10	5 à 14	0,3 à 20
Mg	0,7	0,8	1,6	0,1 à 3	0,3 à 3	0,5 à 5	0,05 à 15
K	1,8	1,7	3,3	0,2 à 3	1 à 4	1 à 6	0,1 à 16
Na	0,2	0,6	1,0	0,1 à 1,5	0,3 à 2	0,5 à 3	0,05 à 12
M.O. ppm	3,2	3,0	4,5	1 à 12	1 à 9	2 à 6	1 à 20
N. tot.	2,8	2,4	2,3	0,3 à 12	0,3 à 12	0,3 à 5	0,1 à 48
N-NO ₃	-	-	-	-	-	-	-
N-NH ₄	-	-	-	-	-	-	-
PO ₄ ppm	1	0,8	0,7	0,2 à 2,5	0,1 à 1,5	0,1 à 2	0,1 à 4
Fe ₂ O ₃	0,10	0,17	0,10	0,05 à 0,9	0,05 à 1	0,05 à 0,5	0,05 à 4
Al ₂ O ₃	0,08	0,30	0,06	0,01 à 0,5	0,05 à 1	0,01 à 0,5	0,01 à 4
SiO ₂	3,9	4,4	6,5	0,2 à 8	0,5 à 10	0,7 à 12	0,2 à 30
SO ₄ ppm	1,3	3	6	0,6 à 2	1 à 6	2 à 7	0,5 à 31
CL	0,7	0,4	0,8	0,01 à 3	0,2 à 2	0,5 à 2	0,01 à 33

Les teneurs sont exprimées en ppm ou mgr/l., la température en degrés centigrades, la résistivité en ohms.cm.

Tableau 4.4.

EAUX GONSE 1968-69
Feux précoces
Teneurs moyennes pondérées.

N° labo E -	26	8	2	0	1	2			
N° pédo.	G01	G1	G2	G3	G4	G5			
Volume (litre)	10-292	30,8	6,4	-	0,1	11,7			
t° sur le terrain (C)									
résistivité (Ω /cm à 20C)	40-277	26-120	6.969	-	1.215	11.391			
p H	7,0	6,9	6,3	-	6,2	7,2			
Ca (mg/l.)	2,82	5,22	14,40	-	84,00	12,62			
Mg "	0,62	1,09	2,64	-	14,70	1,57			
K "	1,35	2,05	5,05	-	25,80	6,11			
Na "	0,32	0,93	2,45	-	10,80	1,90			
Mat. org. (O mg./l.)	5,41	4,83	10,88	-	-	9,44			
N - total (mg/l)	5,88	7,66	3,08	-	-	6,04			
N - NH ₄ "	0,35	0,35	2,83	-	-	0,91			
N - NO ₃ "	0,14	0,06	3,63	-	-	0,04			
PO ₄ " "	1,56		2,55	-	-	1,65			
Fe ₂ O ₅ "	0,18	1,20	0,19	-	-	0,17			
Al ₂ O ₂ "	0,24	1,26	0,19	-	-	0,43			
SiO ₂ "	6,30	16,81	12,50	-	-	12,50			
Turbidité gr./l.									
Terre de fond kg./ha.									
Cl ⁻ mgr./l.	2,39	-	-	-	-	-			
SO ₄ ⁻ 4 mgr./l.	2,80	-	-	-	-	-			

Tableau 4.5.

EAUX GONSE 1970-71
Protection intégrale

N° labo. E.N	24	1			10	9	2		
N° pédo.	G01	G1			GDV1	DV2	DV3		
Volume (litre)	828,7	0,1			69,1	50,1	5,2		
t° sur le terrain (C)									
Résistivité (Ω /cm à 20°)	30.802	1.455			13.603	13.525	5.221		
p H	6,2	5,2			7,3	7,2	7,0		
Ca (mg/l.)	3,32	-			10,31	12,20	13,98		
Mg "	0,52	-			5,32	6,03	7,78		
K "	1,55	-			2,15	2,14	7,46		
Na "	0,36	-			2,47	3,09	5,46		
Mat. org. (0 mg/l)	6,85	-			2,25	1,98	9,24		
N - total (mg/l)	1,38	-			6,08	8,66	16,66		
N - NH ₄ "	-	-			-	-	-		
N - NO ₃ "	-	-			-	-	-		
PO ₄ "	1,30	-			0,66	0,54	1,01		
Fe ₂ O ₃ "	0,02	-			0,13	0,06	0,01		
Al ₂ O ₃ "	0,14	-			0,20	0,07	0,02		
SiO ₂ "	0,63	-			13,0	14,0	18,1		
Turbidité gr./l.									
Terre de fond kg./ha.									
Cl mgr./L.	0,56	-			1,25	1,32	11,60		
SO ₄ mgr./l.	1,92	-			-	-	-		

Les eaux de ruissellement (23 à 27°) ont généralement 1 ou 2°C de moins que les eaux de drainage (25 à 28°) ; les eaux de drainage récoltées aux lysimètres ont des températures plus élevées que celles recueillies à la case ERLO. La température est plus élevée en début de saison des pluies (avril à juin) surtout lors des petites pluies entraînant de faibles écoulements. A GONSE, la température des eaux atteint des valeurs plus élevées qu'en zone tropicale humide (EX. AZAGUIE 22 à 26° C) ; elle a aussi tendance à être plus variable lorsque les feux ont été tardivement allumés (sous bois nettement moins dense), donc effet tampon moindre.

Le pH ayant été mesuré 2 à 4 mois après le prélèvement sa valeur ne peut être interprétée qu'avec une extrême prudence. Les analyses montrent qu'en général les eaux sont peu acides (valeurs les plus courantes comprises entre 6 à 7,2) ; les eaux de drainage superficiel sont généralement plus proches de la neutralité que les autres. Les variations dues aux traitements ou aux saisons ne sont pas nettes ; lorsque les volumes écoulés sont abondants, les eaux ont tendance à être un peu plus acides. Les domaines de variation du pH sont semblables à ceux qu'on a observés en zone forestière de basse COTE d'IVOIRE.

La résistivité étant en corrélation étroite avec la somme des cations et des anions en solution, elle donne une première indication sur l'évolution saisonnière de la charge soluble en fonction des volumes et des profondeurs des écoulements. A GONSE elle varie de 1000 à 87.000 ohms. cm. Les eaux de ruissellement (15 à 45.000 ohms, cm) ont une résistivité plus élevée que les eaux de drainage (2 à 30.000 ohms, cm) et celle-ci baisse à mesure que l'origine des eaux de drainage est plus profonde. En général, la résistivité augmente sensiblement au cours de la saison des pluies et lorsque le volume écoulé est important. Cette dilution de la charge soluble lorsque le volume des écoulements augmente, pourrait expliquer les variations dans le temps et dans l'espace de la résistivité : en effet, les écoulements sont plus importants au coeur et à la fin de la saison des pluies mais ils diminuent à mesure qu'on s'enfonce en profondeur dans le profil.

Il est difficile de discerner l'influence de la date du feu de brousse car il y eu peu de drainage oblique et même pas du tout lorsque la végétation fut intégralement protégée (1970-71). Tout au plus peut-on dire que les eaux de drainage furent moins chargées (résistivité plus élevée) durant la période (72 à 74) où les feux furent allumés tardivement que durant les quatre premières années.

En moyenne la charge soluble des eaux étudiées fut médiocre sauf au début de la saison des pluies. Ce qui ne présume en rien de l'évolution de la charge soluble au cas où il serait fait usage d'engrais. La résistivité à GONSE est du même ordre qu'à AZAGUIE (forêt dense sur sol ferrallitique sur schiste) mais les eaux de ruissellement sont nettement moins chargées qu'à DIVO (forêt semi-décidue sur sol ferrallitique sur granite) et qu'à ANGUÉDEDOU et ADIOPODOUME (hévea et forêt dense sur sol ferrallitiques très désaturés sur sables tertiaires). Les eaux circulant dans ce milieu savanicole marqué par les feux annuels de GONSE sont donc très pauvres en éléments solubles.

41.32. Les bases

Le calcium en solution a varié de 0,3 à 8 ppm dans les eaux de ruissellement et de 2 à 14 ppm dans les eaux de drainage : il y eu cependant quelques valeurs exceptionnelles atteignant 20-50 et même 84 ppm pour les eaux de drainage (faibles volumes) ce qui perturbe pas mal la représentativité des moyennes pondérées pour le drainage (trop peu d'échantillons et faibles volumes). La teneur en calcium diminue nettement dans les eaux de ruissellement au cours de la saison et lorsque le volume des écoulements augmente. Les teneurs dans les eaux de drainage sont beaucoup plus variables et ne varient pas dans le même sens en fonction de la profondeur d'écoulement dans les lysimètres et la case ERLO. Retenons cependant que les eaux de drainage sont généralement plus riches en calcium que les eaux de ruissellement et que les fortes teneurs sont plus fréquentes en début et tout à la fin de la saison des pluies. Les teneurs en calcium soluble dans les eaux de GONSE sont du même ordre de grandeur que sous la forêt d'AZAGUIE mais plus faible qu'à DIVO - ANGUEDEDOU et ADIOPODOUME.

Les teneurs en magnésium des eaux de ruissellement (variation de 0,1 à 3 ppm) sont inférieures à celles des eaux de drainage (Var. 0,3 à 5 ppm). Quelques échantillons ont jusqu'à 6 à 30 ppm de magnésium : il s'agit généralement des premiers écoulements de l'année. En dehors de ces fortes valeurs, les eaux de GONSE sont très pauvres en magnésium et s'enrichissent légèrement à mesure qu'elles s'infiltrent en profondeur (mp = 0,7 - 0,8 - 1,6 ppm). * Les teneurs observées dans les eaux de drainage recueillies aux lysimètres est beaucoup plus variable (0,5 à 12 ppm) et généralement plus élevée (mp = 2,5 ppm). Le volume des écoulements a une forte influence sur les teneurs : le magnésium disponible est donc peu abondant. Les teneurs en magnésium des eaux de GONSE sont voisines de celles de AZAGUIE mais plus faibles que celles de DIVO - ANGUEDEDOU et ADIOPODOUME. (ROOSE et COLL : 1970 - 71 et 77).

Le potassium en solution varie généralement de 0,4 à 4 ppm dans les eaux de ruissellement et de 1 à 6 ppm dans les eaux de drainage. A part quelques valeurs élevées (16-40 et même 85 ppm ce qui indique de fortes potentialités de lixiviation) en début de saison des pluies, les teneurs en potassium sont généralement faibles et augmentent légèrement en profondeur. Les eaux de drainage ont des teneurs

* Les moyennes pondérées (mp) tiennent compte du ruissellement (= 1er valeur), du drainage dans les 2 premières gouttières (= 3ème valeur). On a peu tenu compte des lysimètres dont les traitements (date du feu) ne sont pas tout à fait semblables à ceux de la parcelle ERLO.

voisines en potassium qu'elles proviennent des lysimètres ou des cases ERLO. Le potassium facilement soluble est peu abondant dans ce sol malgré qu'il contient une certaine réserve de potassium fixée dans les micas et les feldspatnes potassiques : aussi dès que le volume des écoulements augmente, les teneurs s'effondrent. Le potassium en solution est aussi peu abondant qu'à AZAGUIE et nettement moins abondant qu'à ANGUEDEDOU et DIVO.

Tableau 4.7. Comparaison des teneurs en bases des eaux recueillies sous savane à GONSE et sous forêt en basse COTE d'IVOIRE

	GONSE (68-74)			DIVO (67-68)		ANGUEDEDOU (66-69)		AZAGUIE (66-73)		
	Pluie	Drain.		Ruiss.	Drain.	Ruiss.	Drain.	Ruiss.	Drainage	
Pluie	860 mm			1750 mm		2000 mm		1800 mm		
Végétation	savane arborée			forêt semi-décidue		Hévéa sur defriche forest.		forêt dense		
Sol	ferrugineux hydromorphe			ferrall. moyen désat.		ferrall. très désaturé		ferrall. très désaturé		
Roche mère	granite			granite		sables III aires		schistes chloriteux		
TEneurs ppm	Ruiss.	Drain.		Ruiss.	Drain.	Ruiss.	Drain.	Ruiss.	Drainage	
Moyen pond.		sup	inf						sup	inf
Ca	4,9	4,8	7,3	8,2	17,7	7,2	5,1	3,6	4,3	4,1
Mg	0,7	0,8	1,6	1,8	13,9	3,3	5,1	0,9	1,6	1,4
K	1,8	1,7	3,3	4,7	36,1	11,5	8,5	1,4	1,3	0,9
Na	0,2	0,6	1,0	1,3	14,3	2,4	2,3	1,0	1,8	2,4
Total	7,6	7,9	13,2	16,0	82,0	24,4	21,0	6,9	9,0	8,8

Les teneurs en sodium augmentent à mesure que les eaux pénètrent à l'intérieur du profil : elles passent de Na mp = 0,2 dans les eaux de ruissellement à Na mp = 0,6 ppm dans les eaux de drainage recueillies dans les horizons superficiels et à Na mp = 1 ppm dans les eaux de drainage profond. Les variations sont très réduites (0,01 à 12 ppm). On peut trouver quelques fortes teneurs en début de saison des pluies lors des premiers écoulements mais très vite les teneurs sont inférieures à 2 ppm ou même 1 ppm. Lors des forts écoulements, les teneurs en sodium sont réduits à l'état de traces dans les eaux de ruissellement.

les eaux de GONSE sont remarquablement pauvres en sodium, bien plus que celles de DIVO, ANGUEDEDOU et même AZAGUIE : à voir la structure du sol en profondeur, on aurait pu s'attendre à des teneurs plus élevées en sodium.

En résumé, les teneurs en bases des eaux superficielles de GONSE sont faibles, du même ordre qu'à AZAGUIE (sauf le sodium) et nettement plus faibles qu'à DIVO et ANGUEDEDOU.

41.33. Les matières organiques : carbone et azote.

Les teneurs en carbone * dans les eaux de surface observées à GONSE sont faibles et peu différentes quelque soit la profondeur des écoulements (M.O. mp = 3,2 - 3 - 4,5 ppm). Par contre l'évolution saisonnière est sensible ; après quelques valeurs élevées (10 à 27 ppm) en début de saison, les teneurs oscillent entre 1 et 5 ppm en fonction des volumes écoulés puis remontent lentement lors des dernières pluies. Dans les lysimètres les eaux de drainage sont un peu plus pauvres en carbone que dans la case ERLO car la couverture végétale (petites graminées) y est moins dense également. Les teneurs en carbone des eaux de ruissellement et de drainage semblent plus faibles (de 1 à 3 ppm) durant les trois dernières années où la parcelle fut soumise aux feux de brousse tardifs (perte de carbone mais aussi volumes d'écoulement importants) que durant les quatre premières années où la végétation était mieux protégée et plus dense : l'influence du traitement "date du feu de brousse" est donc sensible sur la teneur en carbone en solution dans les eaux de surface. Si on considère d'une part, la production en feuilles d'arbres, en pailles et en racines (2 à 6 t/ha/an dans une savane comme GONSE) et d'autre part, les teneurs médiocres (3 à 4 ppm) de carbone en solution et les faibles écoulements (Ruissellement 10 à 80 mm et drainage de 0 à 150 mm) et si on admet que le sol de cette savane protégée est en équilibre avec le milieu, on constate que les migrations de matières organiques en solution sont négligeables (1 à 9 kg/ha/an d'équivalent carbone) : quasi toute la production végétale est volatilisée en CO₂ soit par le feu soit par l'activité microbienne soit par l'activité de la faune (termite et bétail). Dans cette région sahélienne, l'homme intervient aussi très activement (chasse, élevage, artisanat, chauffage) sur l'exploitation de la maigre production végétale si bien que les sols sont généralement plus pauvres encore en matières organiques que les sols ferrallitiques des zones chaudes et humides.

* Note : Le carbone de l'eau est évalué indirectement par la méthode au bichromate : en réalité on dose l'oxygène nécessaire pour oxyder le pouvoir réducteur des eaux, lequel est représenté en majorité par les matières organiques mais aussi par les chlorures etc. En milieu naturel l'erreur n'est pas bien grande. Etant donné qu'on ne connaît pas la teneur moyenne en C.H.O.N. des matières organiques solubles dans les eaux, on ne peut parler de matières organiques mais plutôt d'équivalent carbone.

L'azote en solution a été dosé sous trois formes : l'azote nitrite + nitrate, l'azote ammoniacal et l'azote total comprenant à la fois les deux premiers et l'azote organique. Cependant les délais de transport des échantillons et les conditions

climatiques furent telles qu'il serait hasardeux de tirer des conclusions sur la répartition des différentes formes de l'azote en solution dans les eaux recueillies à GONSE ; tantôt l'ammoniaque l'emporte sur les nitrates, tantôt la forme organique représente 90 % de l'azote total, tantôt il n'en représente plus que 10 %. Dans les conditions expérimentales (jerricans pleins bien bouchés, à l'abri de la lumière, seule l'azote totale n'a pratiquement pas évolué : nous nous limiterons donc à son étude.

L'azote total en solution dans les eaux est particulièrement faible à GONSE et n'évolue pas nettement à mesure que les eaux pénètrent en profondeur dans le profil (N total mp = 2,8 - 2,4 - 2,3 ppm). Par contre les variations saisonnières sont sensibles : après quelques valeurs très élevées (15 à 48 ppm) correspondant aux premiers écoulements, les teneurs en azote totale varient entre 0,3 et 5 ppm en fonction des volumes écoulés. Une chute très brutale des teneurs a été remarquée en 1969 sur les eaux de ruissellement et il semble que durant les trois dernières années, l'influence du feu de brousse tardif a entraîné également une baisse sensible des teneurs en azote total en solution dans les eaux superficielles.

Tableau 4.8. Comparaison des teneurs en carbone et azote (mp en ppm) en solution dans les eaux de ruissellement et de drainage en milieu naturel tropical de plus en plus humide.

Pluie Végétation	GONSE (68-74) 860 mm savane arborée			DIVO (67-68) 1750 mm forêt semi-décidue		AZAGUIE (66-73) 1800 mm forêt dense humide			ANGUEDOU (66-69) 2000 mm Hévéa /défriché forest.	
	ruiss.	dr.-sup	dr-inf	Ruiss.	Drain.	Ruiss.	dr-sup	dr-inf	Ruiss.	Drain.
C	3,2	3	4,5	15,7	16,9	9	15	9,7	20,7	14,6
N total	2,8	2,4	2,3	11,4	18,2	5,4	2,3	2,2	10,1	11,2

Il ressort du tableau 4.8. que les eaux de surface recueillies à GONSE sous une savane arborée soumise aux feux sont plus pauvres en matières organiques solubles que celles recueillies dans trois stations forestières où les précipitations atteignent le double des pluies annuelles moyennes de GONSE. Ceci s'explique facile-

ment par la différence de production de litières de ces milieux naturels (8 à 12 t/ha/an pour les forêts denses humides et 3 à 4 t/ha/an pour des savanes arborées du type GONSE).

41.34. Le phosphore, le fer, l'alumine et la silice.

Les teneurs en phosphate ont tendance à diminuer depuis le ruissellement jusqu'au drainage profond (PO_4 mp = 1 - 0,8 - 0,7 ppm). Les teneurs varient de 0,1 à 4 ppm mais la plupart des résultats se situent entre 0,2 et 2 ppm. Les variations en fonction des saisons et des volumes écoulés ne sont pas nettes ; d'une part on observe de fortes teneurs (plus de 2 ppm) lors de fort ruissellement, et d'autre part les teneurs peuvent être élevées (2 - 4 ppm) dans le front de drainage (faible volume mais fortes charges). Le phosphore étant peu soluble dans l'eau aux pH observés, sans doute migre-t-il complexé avec la charge solide ou pseudosoluble, ce qui expliquerait une bonne part des variations. Les eaux de drainage provenant des lysimètres sont plus pauvres en PO_4 que celles qui proviennent de la case ERL0 ; de même, les teneurs en phosphates sont plus faibles les trois dernières années (feux tardifs) que les quatre premières années où la végétation fut plus abondante.

Les teneurs en fer soluble dans les eaux de surface sont très faibles (Fe_2O_3 mp = 0,10 - 0,17 - 0,10 ppm) que ce soit dans les eaux de ruissellement ou de drainage en dehors de quelques échantillons (1 à 4 ppm) représentant les premiers écoulements de faible volume. Il est difficile d'y déceler une évolution en fonction de la saison ou du niveau des écoulements. On peut constater cependant que les teneurs observées en 1968 sont largement plus élevées que les autres (0,5 ppm de Fe_2O_3) ; sans doute est-ce en relation avec un léger changement de méthode analytique entraînant l'élimination du fer lié aux colloïdes par floculation. Les teneurs en fer variant le plus souvent entre 0,1 et 1,5 ppm, la migration actuelle du fer en solution paraît fort lente et on voit mal comment ont pu se former les nombreuses cuirasses, carapaces et nappes gravillonnaires du plateau MOSSI sans faire intervenir le facteur temps et /ou un climat bien différent de celui que nous connaissons actuellement. Enfin, on constate que les teneurs en fer des eaux recueillies sous la savane de GONSE sont nettement plus faibles que celles qui ont été observées sous forêt dense humide. (voir tableau 4.9).

L'alumine en solution dans les eaux de ruissellement et de drainage est peu abondante (Al_2O_3 mp = 0,08 - 0,3 - 0,06 ppm) sauf pour quelques échantillons représentatifs de faibles volumes analysés en 1968 (3 à 4 pp). En dehors de ces exceptions les variations sont faibles (0,01 à 0,5 ppm) et il est difficile d'y distinguer l'influence des saisons, des volumes ou du niveau d'écoulement.

Par contre en 1968, les teneurs sont nettement supérieures à celles des années suivantes sans doute pour les mêmes raisons de changement de méthode de préparation des échantillons (floculation comme pour le fer). En définitive les teneurs en alumine des eaux recueillies sous la savane de GONSE sont encore plus faibles que celles observées sous forêt tropicale humide (voir tabl. 4.9.). Ceci est en concordance avec la théorie qui veut que sous le pédo-climat ferrugineux l'évolution des argiles ne soit pas aussi poussée qu'en milieu ferrallitique et en particulier ne soit pas poussée jusqu'au stade la libération d'alumine. Fer et alumine sont moins mobiles car la pédogenèse est moins acide qu'en milieu ferrallitique.

La silice en solution dans les eaux de drainage est légèrement plus élevée que celle des eaux de ruissellement (Si O_2 mp = 3,9 - 4,4 - 6,5 ppm). Cependant les variations de teneur sont très larges (0,2 à 30 ppm) sans qu'on puisse mettre clairement en évidence l'influence saisonnière ni celle des volumes écoulés. Les teneurs varient de 5 à 15 ppm en 1968 et de 0,2 à 8 ppm les années suivantes ce qui s'explique par un léger changement du mode d'extraction. En 1969, le laboratoire central d'analyse a tenté de distinguer la silice vraiment dissoute, de la silice en pseudo-solution en acidifiant le milieu (floculation rapide des pseudo solubles). Sur les échantillons traités, la silice en solution vraie représentait environ 30 % de la silice mobilisée totale (soluble + pseudo-soluble).

Notons par ailleurs que les eaux de drainage recueillies aux lysimètres sont nettement plus riches (8 à 13 ppm en moyenne) que celles qui proviennent de la case ERLO (3 à 7 ppm en moyenne) : l'explication n'en est guère évidente.

Il apparaît au tableau 4.9. que les teneurs en silice des eaux recueillies sous la savane de GONSE (sol ferrugineux sur granite) sont voisines de celles observées à AZAGUIE (sol ferrallitique très désaturé sur schiste) et ANGUÉDEDOU mais inférieures à celles observées à DIVO en 1967 et 68 (sol ferrallitique moyennement désaturé) : ces teneurs sont compatibles avec le domaine de la solubilisation du quartz (inférieures à 6 ppm) sauf peut-être dans les eaux de drainage profond où intervient probablement l'altération des feldspaths et micas relativement résistants. A certaines périodes de l'année cependant les teneurs en silice sont voisines de 1 ppm et il serait possible d'admettre la destruction d'une faible quantité d'argile à la surface du sol. (voir diagramme de solubilité du quartz, de la kaolinite et gibbsite de GARDNER, 1970 et MILLOT, FAUCK 1971). Mais ce phénomène est très limité et ne peut rendre compte de l'appauvrissement en argile des trente premiers centimètres du sol étant donné la masse de quartz disponible et les apports annuels de silice immobilisée temporairement dans la végétation herbacée et arbustive (voir §4.6.) et restituée lors des feux ou de la minéralisation des litières.

Tableau 4.9 Comparaison des teneurs en phosphate, fer, alumine et silice dans les eaux recueillies sous la savane de GONSE et en milieu ferrallitique forestier.

Pluie Sol	GONSE (68-74) 860 mm ferrugineux hydromorphe			DIVO (67-68) 1750 mm ferrall. moyen désaturé		AZAGUIE (66-73) 1800 mm ferrall. très désaturé			ANGUEDODOU (66-69) 2000 mm ferrall. très désaturé	
	Ruiss.	Dr. sup	Dr. inf	Ruiss.	Drain.	Ruiss.	Dr. sup	Dr. inf	Ruiss.	Drain.
PO ₄	1	0,8	0,7	0,93	0,34	1,13	0,8	1	1,02	0,63
Fe ₂ O ₃	0,10	0,17	0,10	1,12	0,50	0,40	0,35	0,27	1,59	1,26
Al ₂ O ₃	0,08	0,30	0,06	0,84	0,43	0,23	0,24	0,27	1,04	1,12
Si O ₂	3,9	4,4	6,5	9,0	16,7	4	5,4	5,6	7,2	5,4

41. 35. Chlorures et sulfates

Etant donnés les délais de transport des échantillons, il n'a pas été possible d'évaluer la teneur en bicarbonate des eaux.

Les teneurs en chlorures des eaux recueillies dans la savane arborescente de GONSE sont très faibles (Cl mp = 0,7 - 0,4 - 0,8 ppm), plus faibles que dans les régions moins continentales (AZAGUIE 1 à 4 ppm en moyenne) et que dans les teneurs cultivées et fertilisées (KCl). Les variations sont limitées (0,01 à 3 ppm) sauf pour quelques échantillons de début de saison représentant de faibles volumes (5 à 41 ppm). Les teneurs en chlorure observées les trois dernières années sont légèrement plus faibles que celles des années précédentes ; peut-être parce que les écoulements furent plus abondants lorsque le sol était moins couvert.

Les teneurs en sulfates des eaux de ruissellement sont nettement plus faibles que celles des eaux de drainage (SO₄ mp = 1,3 - 3 - 6 ppm) : elles sont du même ordre qu'en milieu forestier plus proche de la côte atlantique (AZAGUIE mp = 3,5 à 5 ppm) mais nettement plus faibles qu'en terre de culture fertilisée (sulfates de potassium et d'ammonium). Les teneurs varient généralement de 0,6 à 4 ppm avec quelques valeurs plus élevées (6 à 31 ppm) en début de saison lors de faibles écoulements.

41.36 Conclusions sur les analyses d'eau.

1) Les essais s'étant poursuivis pendant 7 années, on pouvait craindre que des mises au point successives des procédés analytiques modifient la signification des résultats. Nous avons effectivement constaté des discordances entre les résultats de 1968, systématiquement plus forts, et ceux des années suivantes. Il s'agit surtout de la silice, de l'alumine, du fer et du phosphore, quatre éléments étroitement associés aux migrations sous forme de complexe colloïdal plus ou moins stable. Avant 1969, une bonne part des colloïdes ont été comptabilisés tandis qu'ensuite les dosages ne rapportent que les éléments en solution vraie.

2) Les eaux de drainage recueillies aux lysimètres sont quelque peu différentes des eaux de drainage oblique (case ERLO). Elles sont légèrement plus pauvres en carbone et légèrement plus riches en magnésium, sodium azote total et surtout en silice. Ceci est en relation avec les perturbations qu'apporte le dispositif aux migrations colloïdales et avec un développement moindre du système racinaire dans ce dispositif (pas d'arbre). Les écarts cependant ne sont pas considérables (à part peut-être pour la silice).

3) Les eaux superficielles provenant de la savane de GONSE caractérisée par un pédoclimat de type "ferrugineux" très sec, sont très peu chargées mais pas essentiellement différentes de celles qui ont recueillies en milieu forestier sous pédoclimat "ferrallitique", humide presque toute l'année. Les migrations en solution dans les conditions de GONSE seront donc réduites puisque les volumes des écoulements sont faibles de même que les concentrations en éléments solubilisés.

4) Les influences saisonnières sont relativement bien marquées. Les teneurs les plus fortes s'observent lors des premiers écoulements puis les teneurs baissent rapidement lorsque les volumes augmentent : elles remontent légèrement lors des dernières averses. Ce schéma est valable à quelques nuances près pour tous les éléments dosés sauf pour le fer, l'alumine et la silice qui semblent peu dilués lors des écoulements abondants.

5) Généralement les eaux de drainage sont un peu plus chargées que les eaux de ruissellement (sauf pour N total et PO_4) mais il est difficile d'en juger à cause du faible volume du drainage et du petit nombre d'échantillons récoltés.

6) Dans la plupart des cas, les eaux recueillies les trois dernières années sont moins chargées que celles des années précédentes. Il semble donc que les feux tardifs ont non seulement modifié considérablement la végétation, le bilan hydrique mais aussi la masse d'éléments disponibles et facilement solubilisés par les eaux de ruissellement ou d'infiltration : le milieu s'est donc appauvri à bien des points de vue.

7) La pauvreté en éléments dissous constatée dans les eaux de surface de la savane de GONSE ne permet aucune conclusion sur l'évolution de celle-ci au cas où l'on modifierait le milieu en introduisant des cultures fertilisées. On peut

cependant conclure que même si les teneurs augmentaient sous l'effet des fertilisations très modérées utilisées en HAUTE-VOLTA, (vu son coût) les pertes par lixiviation des éléments nutritifs resteraient modestes vu la faiblesse du drainage et la puissance de l'évapotranspiration.

41.4. Les pertes en éléments solubles dans les eaux de drainage.

Les teneurs en éléments solubles dans les eaux de drainage sont réunies au tableau 4.3. Quant aux volumes, nous ne considérerons que les phénomènes moyens (voir bilan hydrique moyen) observables sous la savane arborescente de GONSE :

- pluie annuelle moyenne 860 mm
- ruissellement 2,5 % = 22 mm
- drainage 25 mm
- érosion = 150 kg/ha/an dont 90 % de suspension

Au tableau 4.10 colonne 7 p.63 il apparaît que les pertes en éléments solubles dans les eaux de drainage sont extrêmement réduites vue la faiblesse du drainage moyen : 0,9 kg/ha/an de carbone, 0,6 kg d'azote, 0,1 kg de phosphore, 1,5 kg de calcium, 0,3 kg de magnésium, 0,6 kg de potassium et 0,2 kg de sodium. A peine 1,4 kg/ha/an de silice, 0,04 kg d'alumine et d'oxyde de fer - 1,1 kg de sulfate et 0,2 kg de chlorure.

41.5. Les pertes en éléments solides et solubles par érosion et ruissellement.

(tableau 4.11)

L'érosion entraîne la migration de divers éléments en solution dans les eaux de ruissellement et d'autres liés à des solides de tailles variées (suspensions fines = GOS ou éléments grossiers tractés = GOT). Au tableau 4.12 sont résumés les résultats d'analyse des terres érodées de 1968 à 74.

Au tableau 4.11, sont détaillées les pertes moyennes par érosion (teneurs moyennes x volumes ou poids moyens).

Les pertes en solution dans les eaux de ruissellement sont encore plus faibles que dans les eaux de drainage (voir récapitulation tableau 4.10. colonne 6).

Les pertes totales par érosion (solubles x solides) sont très réduites sous la savane de GONSE car les volumes déplacés et les teneurs ont faibles. Elles s'élèvent à 1,3 kg de calcium, 0,4 kg de magnésium, 0,9 kg de potassium et des traces de sodium (bases totales), 9,6 kg de carbone, 1,2 kg d'azote, 0,1 kg de phosphore, 27,6 kg de silice combinée, 19,9 kg d'alumine combinée, 5 kg d'oxyde de fer et 1,6 kg d'oxyde de titane. Si les bases et l'azote migrent pour une bonne part sous forme soluble dans les eaux de ruissellement, il n'en va pas de même pour la silice, l'alumine, le fer, le carbone, le phosphore et même le potassium dont la majorité est liée aux suspensions fines.

Tableau 4.10. Shéma de bilan géochimique d'une parcelle de savane arborescente du plateau MOSSI. GONSE 1968-74. kg/ha/an

	Apports		PERTES				Total kg/ha/an	Solubles % du	STOCKS		CYCLES INTERNES	
	Pluie	biol P.M	Erosion (solide) 150 kg S/E =0,9	Ruissell. (soluble) 22 mm	Drainage (soluble) 25 mm	Végétation arborescente P.M			sol 30 cm	Litières feuilles+ herbes 4,5 t/ha	Remontée termites 1.200 kg	Pluvio lessivage P.M
Colonne	1	2	3	6	7	9	10	11	12	13	14	
Carbone	11,2	N.M	8,9	0,7	0,9	10,5	15 %		21.400	2.175	17,5	
Azote	5,4		0,5	0,6	0,6	1,7	71 %	N.M	1.451	15	0,8	N.M
Phosphore	2,15		0,09	0,07	0,06	0,2	59 %		83	1,8	0,3	
Calcium	18,4	N.M	0,2	1,1	1,5	2,8	93 %	N.M	1.356	36	1,1	
Magnésium	2,7		0,2	0,2	0,3	0,7	72	"	579	9,3	0,8	
Potassium	3,4		0,5	0,4	0,6	1,5	67 %		116	24	1,4	
Sodium	1,0		0,08	0,04	0,2	0,3	75 %		-	-	0,1	
SiO ₂	5,5	N.M	26,7	0,9	1,4	29,0	8 %	N.M	288.591	36,6	-	N.M
Al ₂ O ₃	0,3		19,9	0,02	0,04	20,0	1 %	"	218.628	4,8	-	
Fe ₂ O ₃	0,3		5,01	0,02	0,04	5,1	1 %		75.705	4,7	16	
SO ₄	13,5	N.M	-	0,3	1,1			N.M	-	1,4	-	N.M
Cl	2,8		-	0,2	0,2			"	-	-	-	
CO ₃ H	-		-	-	-				-	-	-	
quartz	-		(88)	-	0				-	-	-	
Total			150 kg 62,08	4,55	6,75							

N.M = non mesuré. P.M = pour mémoire

Tableau. 4.11. Pertes (kg/ha/an) par érosion : en solution dans les eaux de ruissellement , en solide dans les suspensions et les terres de fonds.
Moyenne à GONSE sous savane arborescente à feu précoce.

N° labo E.							
N° pédo							
Tableau 4,11	Ruiss.	Susp.	T.d.f.	Total solide		Total érosion	
Ca ech kg/ha/an	1,1	0,073	0,012	0,085		1,2	
Mg " "	0,2	0,180	0,002	0,182		0,4	
K " "	0,4	0,029	0,002	0,031		0,4	
Na " "	0,04	0,004	0,001	0,005		0,05	
S " "	/						
$V = S/I$ %	/						
pH 1/2,5 (H ₂ O)	/						
Ca total kg/ha/an	1,1	0,200	0,020	0,220		1,3	
Mg " "	0,2	0,222	0,007	0,229		0,4	
K " "	0,4	0,532	0,005	0,537		0,9	
Na " "	0,04	0,078	0,002	0,080		0,1	
" "	/						
C kg/ha/an	0,7	8,640	0,248	8,9		9,6	
N "	0,6	0,533	0,014	0,547		1,2	
P	0,07	0,083	0,002	0,085		0,16	
SiO ₂ combinée kg/ha/an	0,9	26,1	0,60	16,7		27,6	
Al ₂ O ₃	0,02	19,6	0,28	19,9		19,9	
Fe ₂ O ₃	0,02	4,86	0,15	5,01		5,0	
TiO ₂	-	1,61	0,04			1,65	
S.G (200-2000 μ) %							
Refus (> 2 mm) %							

Tableau 4.12. Résumé des analyses des terres érodées (GOT = terres de fond et GOS = suspension) à GONSE de 1968 à 1974.

Terres érodées : moyennes.

N° labo E	Got	Got	Got			Got	Gos	
N° pédo	68/69	70/71	72-3-4			68-74	68-74	
Poids kg.	117	57	129			303		
Ca échangeable mé %	3,41	2,9	4,7			3,9	2,7	
Mg " "	0,95	0,79	1,5			1,2	1,1	
K " "	0,23	0,38	0,23			0,26	0,55	
Na " "	0,06	0,05	0,04			0,05	0,14	
T " "	3,55	3,69	6,16			4,69	17,2	
= S/T %								
pH 1/2,5 (H ₂ O)								
Ca total mé %	5,77	4,6	8,0			6,50	7,4	
Mg " "	2,86	2,2	4,9			3,60	13,6	
K " "	0,83	0,6	0,93			0,83	10,1	
Na " "	0,29	0,9	0,7			0,60	2,5	
" "								
C 0/00	10,28	12,5	23,9			16,50	64,0	
N 0/00	0,55	0,70	1,38			0,93	3,95	
P ₄ O ₅ (total) 0/00	0,18	0,05	0,21	0,45		0,30	1,41	
(d'isen)				0,09		0,07	-	
(0 - 2 μ) %	4,9	5,3	7,9			6,2	52,6	
L.F. (2.20 μ) %	2,1	2,1	4,8			3,3	23,1	
L.G (20-50 μ) %	11,4	16,6	9,8			11,7	8,1	
S.F (50-20 μ) %	28,0	22,7	27,6			26,8	6,0	
S.G (200-2000 μ) %	55,0	53,0	49,1			52,1	2,5	
Refus (2 mm) %	0	0	0			-	-	
Si O ₂ combinée triacide	-	3,1	4,4			4,0	19,3	
Al ₂ O ₃ %	-	2,0	1,9			1,9	14,5	
Fe ₂ O ₃ %	0,86	0,9	1,1			0,97	3,6	
Ti O ₂ %	-	0,23	0,31			0,29	1,19	

41.6. Immobilisation dans les végétaux.

Il serait intéressant de comparer la masse des éléments susceptibles de migrer à celle de ces mêmes éléments stockés dans le sol et la végétation.

A GONSE nous ne disposons d'aucune évaluation ni des racines ni du bois sur pied qui stockent les éléments de façon relativement durable. Par contre, nous avons mesuré en mars 1975 le poids et la composition de la litière de feuilles d'arbres jonchant le sol desséché (1t/ha) ainsi que les herbes (0,458 t/ha de mat. sèche à l'air) avant le feu de brousse. Cette observation à la fin de la période où les feux ont été allumés tardivement peut être considérée comme un minimum. Le maximum pourrait être évalué à partir des observations effectuées à SARIA (1971 à 74) où la production annuelle d'herbes sur parcelle protégée a varié de 2,5 à 5,1 t/ha de matières sèches. Cependant, l'ensemble du bilan étant basé sur la situation la plus courante sur le plateau MOSSI (savane et feux précoces), nous estimerons la production moyenne de paille à 3 t/ha/an et de feuilles d'arbres à 1,5 t/ha/an.

Non seulement les savanes produisent moins de matières sèches (1 à 6 t/ha/an) que les forêts tropicales (8 à 12 t/ha de litière) mais encore les pailles sont nettement plus pauvres que les feuilles d'arbres sauf en silice (voir tabl. 4.13.). Il en résulte qu'en savane non seulement le stockage des éléments nutritifs est très limité (en fonction du taux de boisement) mais la mobilisation et le dépôt de ces éléments à la surface du sol sous forme de litière est plus réduit que sous forêt (ex litière forêt du TEKE = 9,6 t/ha/an dont 113 kg de N, 4 kg de P, 26 kg de K, 105 kg de Ca et 23 kg de Mg). Enfin, chaque année les feux détruisent environ 80 % des matières organiques : azote et carbone sont volatilisés en majeure partie, les cendres sont emportées par le vent et dispersés avec le ruissellement lors des premières pluies.

Tableau 4. 13 Immobilisation temporaire de divers éléments dans les herbes et les feuilles d'une savane arborescente d'après les observations effectuées à GONSE et SARIA.

Tabl. 4. 13	Teneurs		Mobilisation minimum kg/ha			Mobilisation maximum kg/ha			Mobilisation feu hâtif kg/ha		
	herbes	feuille	herbes	feuille	total	herbe	feuille	total	herbes	feuille	total
Mat. sèche			500 kg	1000 kg	1500kg	4000 kg	2000 kg	6000	3000 kg	1500 kg	4500 kg
C	45 %	55 %	225	550	775	1800	1100	2900	1350	825	2175
N	0,2	0,6	1	6	7	8	12	20	6	9	15
P	0,02	0,08	0,1	0,8	0,9	0,8	1,6	2,4	0,6	1,2	1,8
K	0,5 %	0,6 %	2,5	6	8,5	20	12	32	15	9	24
Ca	0,4	1,6	2	16	18	16	32	48	12	24	36
Mg	0,15	0,32	0,8	3,2	4	6	6,4	12,4	4,5	4,8	9,3
S O ₄	0,03 %	0,03 %	0,15	0,30	0,45	1,2	0,6	1,8	0,9	0,5	1,4
Si O ₂	1	0,44	5	4,4	9,4	40	8,8	48,8	30	6,6	36,6
Fe ₂ O ₃	0,10	0,11	0,5	1,1	1,6	4	2,2	6,2	3	1,7	4,7
Al ₂ O ₃	0,10	0,12	0,5	1,2	1,7	4	2,4	6,4	3	1,8	4,8

41.7. Stockage des éléments dans le sol.

tableau 4.14

Le sol contient également en réserve quantité d'éléments plus ou moins mobiles. Au tableau 4.14. sont comparés ces stocks d'éléments échangeables contenus dans l'horizon meuble (0 - 30 cm) et dans les horizons exploitables par les racines (0+ 75 cm à GONSE - 50 cm à la forêt de YAPO) sous la savane de GONSE et sous deux forêts denses situées sur un sol ferrallitique très désaturé sur schiste en basse COTE d'IVOIRE. (ROOSE, GODEFROY 1977).

Tableau 4.14 Comparaison des stocks en éléments échangeables sous la savane de GONSE (HAUTE-VOLTA) et les forêts denses humides de YAPO et du TEKE (Basse COTE d'IVOIRE)

Tabl. 4.14.		: Sol ferrug. tropical : savane GONSE : Sol Ferral. très désaturé		
Stocks en kg/ha :		savane GONSE (H. VOLTA)	TEKE	YAPO
		: ROOSE-GODEFROY	: HUTTEL-REVERSAT	
<u>Carbone</u>	:	:	:	:
sur 30 cm	:	21.399 kg/ha	:26.250 kg/ha	: -
50 cm	:	29.491 "	: -	: -
75 cm	:	39.606 "	: -	: -
<u>Azote total</u>	:	:	:	:
sur 30 cm	:	1451 kg/ha	: 2.405	: -
50 cm	:	1233 "	: -	: 2600
75 cm	:	3211 "	: -	: -
<u>P₂O₅ Olsen/Total:</u>	:	:	:	:
sur 30 cm	:	82,5 / 745 kg/ha	: 52/637	: -
50 cm	:	116 /1255 "	: -	: 124/916
75 cm	:	159 /1892 "	: -	: -
<u>Ca éch.</u>	:	:	:	:
sur 30 cm	:	1536 kg/ha	: 104	: -
50 cm	:	3698 "	: -	: 169
75 cm	:	6401 "	: -	: -
<u>Mg éch.</u>	:	:	:	:
sur 30 cm	:	579 kg/ha	: 27	: -
50 cm	:	1340 "	: -	: 75
75 cm	:	2291 "	: -	: -
<u>K éch.</u>	:	:	:	:
sur 30 cm	:	116 kg/ha	: 74	: -
50 cm	:	275 "	: -	: 113
75 cm	:	474 "	: -	: -

Il apparaît au tableau 4.14 que les stocks en carbone et azote sont nettement plus faibles sous savane que sous forêt tout au moins sur les 30 premiers centimètres. Le sol de GONSE est aussi pauvre en phosphore et potassium assimilable que les sols forestiers. Par contre, le stock en calcium et magnésium échangeables est nettement plus élevé dans le sol ferrugineux de la savane de GONSE que dans les sols ferrallitiques forestiers très désaturés.

Le stock d'azote total est relativement important à GONSE mais il n'est pas sûr que le flux d'azote minéralisé soit suffisant pour assurer les besoins d'une culture céréalière : la carence azotée est généralement très vive après défrichement d'une savane. La carence en phosphore serait probablement la première à limiter la production après mise en culture ; la carence en potassium devrait apparaître après quelques années d'exploitation car il existe une réserve de potassium plus ou moins disponible dans les minéraux non complètement altérés (micas et feldspath potassique). En effet, à côté de ces éléments "échangeables ou assimilables", des analyses plus poussées montrent la présence d'un stock considérable (2 à 10 fois plus grand) d'éléments qui peuvent être extraits à l'aide de réactifs plus puissants. Dans la nature, des échanges continuels ont lieu entre chacun des compartiments à des vitesses variables en fonction des éléments étudiés : les cas du phosphore et du potassium sont les plus connus.

41.8. Cycles internes : la litière et les remontées par les termites.

Nous ne reviendrons plus sur l'immobilisation des éléments dans les herbes et les feuilles d'arbres qui constituent la litière en milieu savanicole (voir § 41.6). voir colonne 13 tabl. 4.10.

Par contre il nous faut tenter d'estimer les remontées par les termites. Il n'apparaît pas à GONSE de termites qui puisent à grande profondeur (plusieurs mètres) les matériaux nécessaires à la construction de grands édifices aériens du type des termitières cathédrales. Un seul genre de termites domine sur la parcelle (= Trinervitermes) qui construit de très nombreuses (N = 1300 nids) petites termitières cylindriques (H max = 40 - 50 cm ; diam. max = 33 à 66 cm ; poids total = 6 à 8 t/ha) avec des matériaux prélevés à faible profondeur (0 à 50 cm) en grande majorité. En mélangeant la terre fine de l'horizon ocre aux résidus de litière plus ou moins digérés, les termites déposent au-dessus de la surface du sol des matériaux nettement plus riches que le sol environnant. Après l'abandon des nids par les termites ces matériaux sont érodés sous l'action des pluies et répandus en partie à la surface du sol. Il n'est pas possible de considérer ces matériaux (1200 kg/ha/an) comme un apport net à la surface du sol, mais seulement comme un cycle interne au système sol- plante qui recoupe d'ailleurs plus ou moins les phénomènes de minéralisation de la litière.

Si on considère le poids moyen des matériaux remontés chaque année (1200 kg/ha/an) et les teneurs moyennes des termitières, on constate que ce cycle interne concerne à peine quelques kilogrammes des divers éléments cités ci-dessus.

Tableau 4.15. Remontée par les termites à la savane de GONSE. (kg/ha/an).

bases échangeables	bases totales	P ₂ O ₅ total	0,26	kg/ha/an
Ca 0,77 kg/ha/an	Ca 1,08 kg/ha/an	P ₂ O ₅ ass. Olsen	0,06	"
Mg 0,39 "	Mg 0,77 "	C	17,52	"
K 0,39 "	K 1,39 "	N	0,84	"
Na 0,006 "	Na 0,12 "	fer total	15,95	"

4.2. Schéma de bilan géochimique sous la savane arborescente :

Les données concernant les apports (pluies), les pertes (érosion, drainage), les stocks et certains flux internes au système sol-plante ont été réunies au tableau 4.10. Ces données sont grossières et incomplètes : elles ne permettent pas un bilan géochimique précis mais montrent l'orientation et l'ordre de grandeur de l'intervention des principaux facteurs de l'évolution actuelle du sol.

Sous la savane arborescente de GONSE, les apports par les pluies (+ aérosols) et les remontées biologiques (litières + activités de la faune) sont certes plus faibles que sous les forêts denses des régions tropicales humides mais les pertes par érosion et surtout par drainage y sont encore plus faibles. Au total le bilan semble légèrement positif mais les flux sont très réduits par rapport aux stocks contenus dans le sol et dans une moindre mesure dans la végétation ; sous savane en effet ce dernier stock dépend essentiellement de la strate arborescente puisque les herbes brûlent presque chaque année.

Si la savane est protégée des feux et du pâturage, on constate un enrichissement rapide de la végétation, une augmentation de la production végétale donc de la litière, une baisse sensible des pertes et une lente augmentation du stock de nutriments des horizons superficiels.

Par contre si la savane est soumise aux feux tardifs et/ou au surpâturage, on observe une dégradation de la végétation et de sa productivité, une augmentation des pertes (beaucoup de ruissellement) et un appauvrissement du stock d'éléments nutritifs des horizons les plus exploités par les racines.

A GONSE, nous avons pu observer que le feu joue un rôle important non seulement sur la dynamique des peuplements végétaux (espèces + pyrophiles) mais aussi sur le sol et sur l'ensemble du système "sol-plante-mésafaune".

L'analyse des pertes (colonne 10 tableau 4.10) montre que les bases et l'azote circulent en majorité sous forme soluble tandis que le carbone, la silice et surtout le fer et l'alumine migrent sous forme solide étroitement associés aux particules fines en suspension.

4.3. Conclusions sur le bilan géochimique.

Le milieu tropical sec est caractérisé par un haut potentiel d'érosion car les sols sont peu couverts et les pluies peuvent être violentes, trop abondantes à certaines périodes et trop intenses par rapport à la faible vitesse d'infiltration des sols. Par contre, le drainage étant réduit, les risques de lixiviation des solubles sont moindres.

Tant que subsiste une savane assez dense, le milieu est pauvre mais équilibré car si les apports sont faibles, les pertes sont encore plus réduites. Les feux de brousse privent cependant le sol d'une partie, des éléments (C-N - S) contenus dans la litière. Dans le cas d'un bilan légèrement positif, par exemple en cas de protection intégrale, c'est dans la végétation arborescente que sont stockés progressivement les éléments nutritifs avant d'enrichir les horizons organiques du sol : les réserves comprises dans la strate herbacée sont très réduites.

Dans quel sens évolue actuellement le sol ? La lixiviation des bases et des solubles est beaucoup moins forte qu'en zone tropicale humide. Tant que la savane est dense, ruissellement et drainage sont réduits ; mais si le feu parcourt tardivement le versant, la végétation redémarre tardivement et les pertes par l'érosion et surtout ruissellement risquent d'augmenter. La migration du fer de l'alumine et de la silice est liée à celle des particules solides ; elle est donc très réduite verticalement dans le profil mais peut s'organiser horizontalement à la surface du sol à mesure que se développe l'érosion sélective en nappe.

Les teneurs en matières organiques des sols ferrugineux tropicaux sont généralement médiocres comme à GONSE où elles ont atteint un certain équilibre en fonction des apports de matières végétales fraîches (racines et litières) et du taux de minéralisation (température et humidité favorisant l'activité microbienne). Le feu et les animaux interviennent en accélérant la minéralisation des matières organiques. L'action des termites est ambiguë : les auteurs soulignent généralement leur consommation élevée de cellulose mais certains auteurs font remarquer que plusieurs espèces (dont Trinervitermes) engrangent quantité de matières végétales dans leurs nids et les protègent ainsi d'une destruction plus rapide par le feu. En milieu savannicole, tant que le feu passe chaque année, il est peu probable que le taux de matières organiques puisse s'élever malgré six mois secs dans l'année où l'activité microbienne est ralentie (différence avec la zone tropicale humide). Si la savane est intégralement protégée, l'amélioration du taux de carbone sera probablement lente vu la faible productivité de litière.

La mise en culture de ces sols pose moins de problème de lixiviation des solubles que les sols forestiers désaturés des zones humides ; par contre elle exige, en même temps que la correction des carences minérales (N -P - et plus tard K), des aménagements conservatoires en vue de l'infiltration totale des eaux de pluie (travail approprié du sol, utilisation des résidus de culture et autres matières organiques, densité du semis, lutte contre la battance des pluies).

CHAPITRE 5. MIGRATIONS SOLIDES ET PEDOGENESE.

Après avoir montré dans les chapitres précédents que les pluies violentes peuvent entraîner des phénomènes d'érosion et de ruissellement mais peu de drainage, il convient d'aborder maintenant l'impact de l'agressivité climatique sur la texture du sol.

Bon nombre de sols tropicaux présentent en surface un ou plusieurs horizons appauvris en particules fines sans qu'il soit possible de mettre en évidence une accumulation correspondante dans l'horizon B par rapport au matériaux originel C ; le "ventre" de la courbe texturale des sols lessivés classiques est peu développé ou inexistant.

Dans le profil de la case ERLO de GONSE, le taux d'argile passe de 8 - 14 % dans les horizons meubles à 39 - 41 % depuis l'horizon ocre jusqu'à la cuirasse sans qu'il y ai de "ventre" d'accumulation.

Plusieurs hypothèses peuvent être envisagées pour expliquer ce phénomène :

- 1) Sédimentations successives au cours de phases morphogénétiques différentes ;
- 2) Destruction de l'argile résiduelle en milieu acide au contact de l'humus.

L'analyse a montré que l'on trouve bien 3 à 6,5 ppm de SiO_2 dans les eaux superficielles mais l'alumine y est quasi absente : l'alumine libre devrait donc s'accumuler à la surface du sol ce qui n'est pas le cas ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 2,02$). Par ailleurs, il est rare que les eaux aient moins de 1 ppm de SiO_2 (condition nécessaire pour qu'il puisse y avoir destruction de kaolinite en milieu riche en sable) et cela n'arrive que dans les eaux de pluie ou de ruissellement. Enfin les eaux superficielles sont peu acides généralement (pH = 5,5 à 7,6). L'origine de la silice en solution dans les eaux serait attribuable à la dissolution des phytolithes (20 à 100 kg de SiO_2 dans les herbes) et des quartz très nombreux.

- 3) Erosion en nappe sélective vis-à-vis des particules fines de la surface du sol. Divers agents d'homogénéisation (vers de terre, termites, chute d'arbres etc...) transmettent en profondeur l'appauvrissement en fines de la couche superficielle du sol.
- 4) Lessivage oblique des colloïdes de l'horizon A d'un sol situé en haut d'une topographie, transport à l'intérieur du sol, colmatage des sols de bas de séquence ou évacuation définitive par le réseau hydrographique.
- 5) Lessivage vertical avec dépôts diffus tout au long d'un profil très profond en absence de conditions physicochimiques favorables à la floculation à un niveau précis du sol. Les colloïdes mis en suspension par la battance des pluies à la surface du sol en fonction de leur taille et de leur composition (d'abord de gros flocons colorés par les matières organiques et le fer puis des flocons blancs très fins). Ces dépôts, plus ou moins temporaires, pourraient être remis en circulation lors d'averses violentes à l'occasion desquelles les eaux d'infiltration jouent le rôle de chasse et nettoient les voies de circulation rapide.

L'hypothèse d'une destruction des argiles dans les horizons humifères est à écarter puisque les teneurs en silice des eaux de drainage sont presque toujours supérieures à 1 ppm. Dans les conditions climatiques et topographiques actuelles, le lessivage oblique s'est révélé peu actif et ne concerne probablement que des migrations très localisées favorisant une répartition des sols en mosaïque. L'hypothèse sur l'origine allochtone des horizons meubles et de sédimentations successives échappe à nos expérimentations. Nous nous proposons dans ce chapitre de passer en revue les résultats concernant l'érosion sélective, l'activité des termites et la migration des colloïdes dans les eaux de drainage.

5.1. EROSION SELECTIVE EN NAPPE.

Les résultats d'analyse des terres érodées, de l'horizon superficiel du sol (N = 22 éch.) et des termitières (N = 5) sont rassemblés au tableau 5.1. Il apparaît à la colonne 6 que tous les éléments (sauf le Na) sont plus concentrés dans les terres érodées (terre de fond + suspension) que dans le sol en place. En ce qui concerne la texture, argile et limons fins (0 à 20 microns) sont respectivement 6 et 3 fois plus importants dans les terres érodées que dans l'horizon superficiel alors que les sables s'accumulent à la surface du sol. La limite de sélectivité se trouve entre 20 et 50 microns. Ces résultats confirment ceux que nous avons trouvés en basse COTE d'IVOIRE (ROOSE et COLL. : 1968 - 73 - et 77) mais il convient de souligner que sous la savane de GONSE la sélectivité de l'érosion vis-à-vis de l'argile, du carbone azote et phosphore est nettement plus élevée qu'en zone forestière. Cela s'explique par l'inclinaison de la pente qui est plus forte sous forêt en basse COTE d'IVOIRE que sur le plateau MOSSI : plus la pente est forte plus la compétence (c.a.d. la taille des particules déplacées) et la capacité (c.a.d. la charge solide totale) du ruissellement sont élevées.

Sur des pentes semblables et des sols moins profonds (GAMPELA), le CTFT (1972) a mesuré des érosions de l'ordre de 1 à 10 t/ha/an sous culture. Or nous avons constaté que l'érosion y est aussi sélective : l'appauvrissement sous culture et pente faible est 6 à 60 fois plus rapide que sous la savane assez dense soumise aux feux hâtifs.

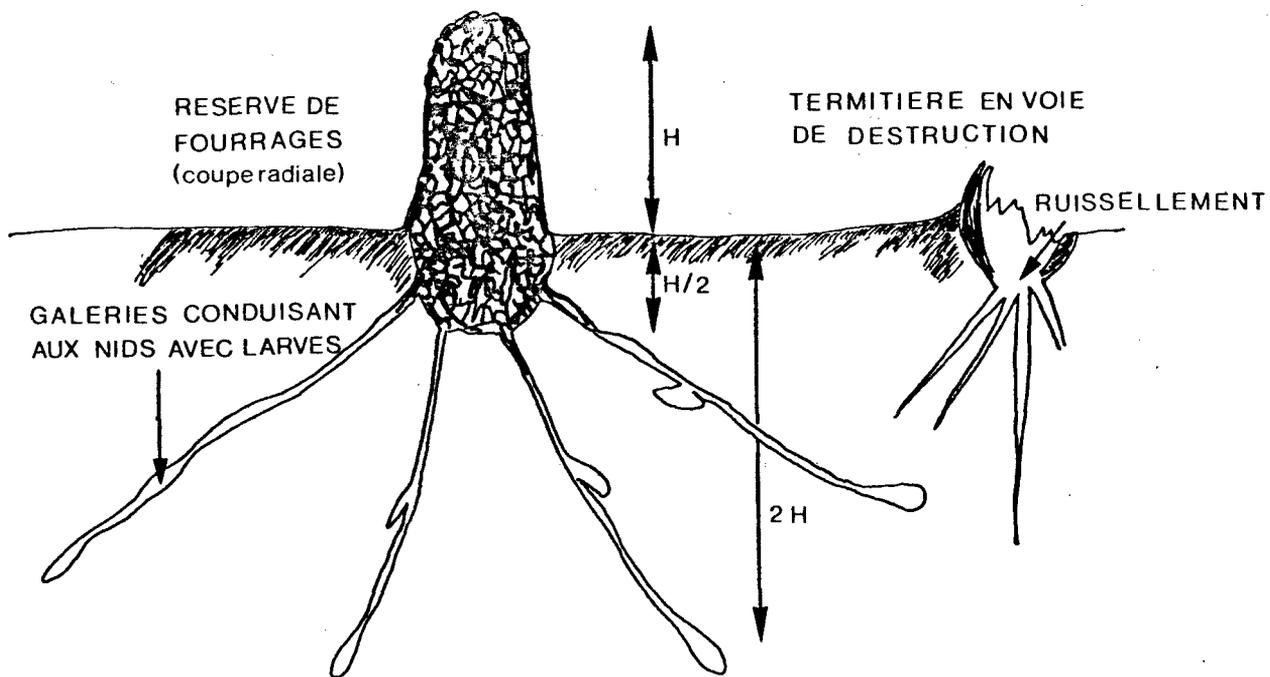
Du point de vue pédogénèse, ces résultats ne signifient pas que l'érosion en nappe décape une mince couche de sol mais qu'elle évacue sélectivement des éléments liés à la fertilité (argile, matières organique, N - P et bases) laissant sur place un mulch de sable. Ce voile de sables et de graviers protégerait le sol de toute érosion ultérieure si des agents d'homogénéisation divers ne mélangeaient activement les horizons superficiels et ne rapportaient en surface des matériaux riches en particules fines.

Tableau 5.1. Comparaison des caractéristiques analytiques des terres érodées de terre de termitière et de l'horizon superficiel du sol.

GONSE 1968-74.

	Suspension (135 kg)	EROSION		Sol en place (N = 22) 0 - 10 cm	Termitières médiane N=S	Coefficient sélectivité	
		Terre de fond (15 kg)	Total (150 kg)			Erosion/sol 3/4	Ter./sol 5/4
Colonnes	1	2	3	4	5	6	7
argile %	52,6	6,2	48,0	7,7 %	16,6	6,2	2,2
limon fin	23,1	3,3	21,1	6,7	9,1	3,1	1,7
limon gras	8,1	11,7	8,5	12,2	17,3	0,69	1,4
sables fins	6,0	26,8	8,1	35,2	24,0	0,23	0,68
sables gros- siers	2,5	52,1	7,5	37,1	31,6	0,90	0,85
Carbone 0/00	64,0	16,5	59,3	5,54	14,6	10,7	2,6
Azote	3,95	0,93	3,65	0,38	0,71	9,6	1,9
P ₂ O ₅ Tot.	1,41	0,30	1,30	0,15	0,22	8,7	1,5
P ₂ O ₅ ass Olsen	-	0,07	-	0,03	0,05	-	1,7
Bases échangeables							
Ca éch.mé/100gr	2,7	3,9	2,82	1,87 mé	3,22	1,5	1,7
Mg "	1,1	1,2	1,11	0,95	2,66	1,2	2,8
K "	0,55	0,26	0,52	0,10	0,84	5,2	8,4
Na "	0,14	0,05	0,13	0,02	0,02	6,5	1
Capacité échange V = S/T	17,2	4,69	15,95	3,20 90 %	6,12 >100	5,0 -	1,9 --
Bases totales							
Ca	7,4	6,5	7,31	3,48	4,49	2,1	1,3
Mg	13,6	3,6	12,6	3,62	5,28	3,5	1,5
K	10,1	0,83	9,2	1,11	2,97	8,3	2,7
Na	2,5	0,60	2,31	0,48	0,43	4,8	0,9
SiO ₂ combinée	19,3	4,0					
Al ₂ O ₃ "	14,5	1,9					
Fe ₂ O ₃ "	3,6	0,97					

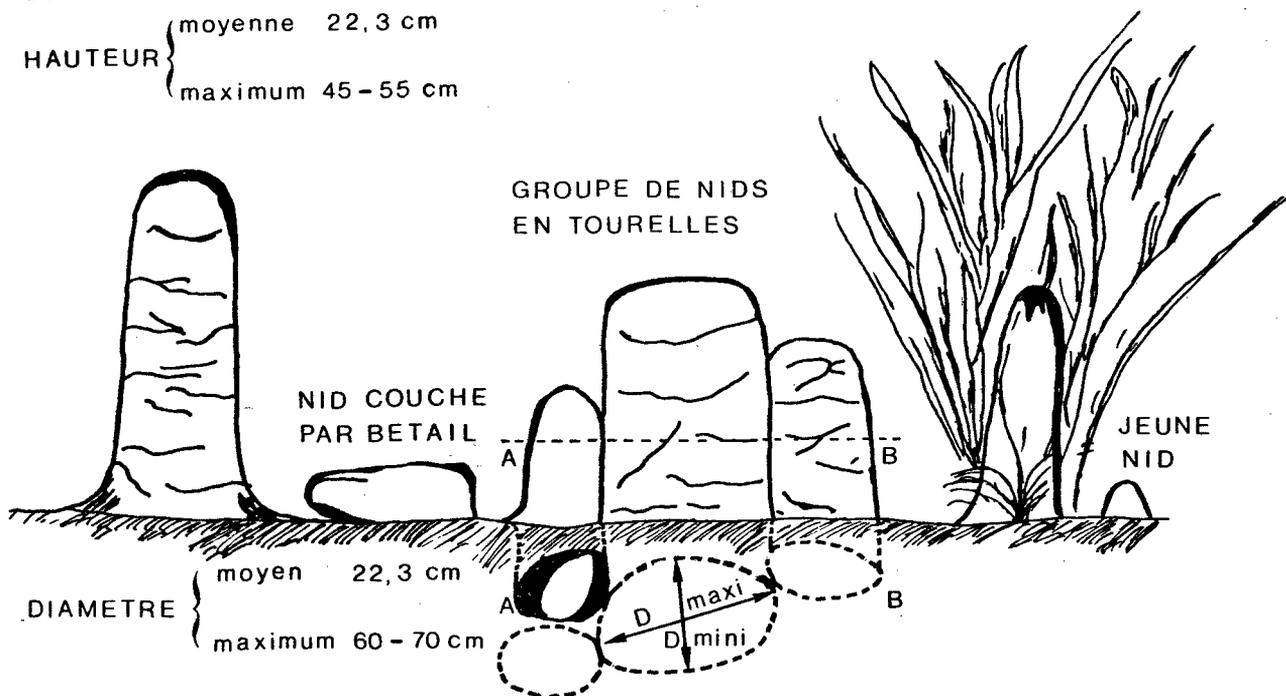
Fig. 5.1 - CONFIGURATION DES NIDS DE *TRINERVITERMES GERMINATUS*
D'APRÈS JOSENS, 1971 (communication personnelle)



NID ISOLE ELEVE
SUB-CYLINDRIQUE

HAUTEUR { moyenne 22,3 cm
maximum 45-55 cm

JEUNE NID TRES FRAGILE S'APPUYANT
SUR UNE TOUFFE D'HERBE



5.2. ACTIVITE DES TERMITES SOUS LA SAVANE.

La parcelle ERLO et son voisinage est parsemée d'un grand nombre de petites termitières cylindriques beiges construites par des termites fourragères (Trinervitermes). Etant donné leur grand nombre (N moyen = 1300/ha) et le poids que ces édifices épigés représente (P moyen = 8,1 t/ha) nous nous sommes attachés à étudier l'importance et les propriétés des matériaux remontés au-dessus de la surface du sol et l'influence de l'activité de ces termites sur la pédogenèse actuelle.

Les observations se sont poursuivies pendant 5 ans sur 8 parcelles contiguës de 250 à 400 m². Les résultats de cette étude ayant déjà fait l'objet d'un rapport (ROOSE, 1976) nous nous bornerons à rappeler ici les conclusions intéressant la pédogenèse. La configuration des nids est décrite à la figure 5.1. et leurs caractéristiques observées lors des inventaires successifs sont résumés au tableau 5.2.

Tableau 5.2. Caractéristiques d'une population en équilibre de nids de Trinervitermes :
GONSE 1970-75

		Médiane
Nombre de nids	(- termitières 1000 à 2000	: 1300
à l'hectare	(- fourmilières 25 à 200	: 100
Hauteur totale	(- moyenne 20 à 24 cm	: 22,3 cm
	(- maximale 40 à 53 "	: 47 "
Diamètre	(- moyen 19 à 27 cm	: 22,3 cm
	(- max. 33 à 66 "	: 49 "
Poids à l'inventaire	(- termitières 6 à 9 t/ha	: 8,1 t/ha
	(- fourmilières 8 t/ha	: -
Surface basale	50 à 81 m ² /ha	: 72 m ² /ha
Croissance mesurée :	100 à 900 kg/ha	: 340 kg/ha
Erosion (des nids abandonnés en milieu découvert	26 à 40 % :	33 %
	(des nids ⁺ protégés par les herbes sur le terrain 0 à 800 kg	: 10 %
Rythme de renouvellement		: 7 ans

Il existe des corrélations hautement significatives entre le poids des termitières et le diamètre moyen à la base des nids ainsi qu'avec la surface couverte (S) par cette base.

$$- P = - 0,569 + 1,231 (0,004 D^{2,2456}) - r = 0,962 \quad (1)$$

$$- P' = 11,412 S - 110 \quad r = 0,99 \quad (2)$$

où P est le poids d'une termitière, P' le poids des termitières réparties sur 1 hectare, d le diamètre moyen ($\frac{\text{max} + \text{mini}}{2}$) et S la surface basale ($S = \frac{\pi (\text{max} + \text{mini})}{4} \cdot \frac{1}{2}$)

Mais l'inventaire des nids épigés ne renseigne que très imparfaitement sur l'activité des termites et le rythme de renouvellement des termitières.

Les remontées de terre par les termites comprennent :

- 1) les nouvelles constructions * apparues d'un inventaire au suivant (100 à 900 kg/ha soit environ 400 kg/ha)
- 2) l'érosion des termitières en place (évaluée à 10 % du poids total soit 800 kg/ha).

En tenant compte de l'apparition de nouvelles constructions et d'une érosion moyenne les remontées de terre par les termites peuvent être évaluées à 1200 kg/ha/an autour de la case ERLO de GONSE ; le rythme de renouvellement s'établit autour de 7 ans. Si l'activité des termites Trinervitermes sur notre parcelle est finalement assez modeste par rapport à celles qui construisent les grandes termitières cathédrales, elles n'en déplacent pas moins 3 à 10 fois plus de terre que l'érosion.

L'analyse des termitières a montré que celles-ci sont plus riches que la terre environnante (0 - 10 cm) en particules fines (0 à 50 microns), en carbone et azote, en bases échangeables et totale (Ca, Mg et surtout K), ainsi qu'en phosphore. Ceci s'explique par le fait que les termites puisent les matériaux de construction non seulement dans les horizons humifères (couleur grise des jeunes termitières) mais aussi au sommet de l'horizon ocre argilo-sableux ; ensuite les Trinervitermes ont l'habitude de tapisser les parois intérieures des nids de leurs excréments, résultat d'une digestion incomplète des herbes et graines qu'elles ont consommées.

L'observation sur le terrain d'une dizaine de profils, les résultats d'analyse (voir tableau 5.3.) et le schéma d'organisation des nids de ce genre de termite* montre que leur activité est importante dans les horizons humifères (30 cm) et au sommet de l'horizon ocre mais qu'elle diminue rapidement à l'intérieur de celui-ci et ne dépasse guère le sommet du gley. Les horizons de terre fine situés au-dessus de la carapace ne proviennent donc pas d'une remontée des argiles bariolées sous jacentes à la cuirasse par les termites qui occupent aujourd'hui ce biotope.

La zone d'activité des Trinervitermes semble donc localisée dans les 30 - 40 premiers centimètres. Dans cette zone, la perforation des galeries n'entraîne qu'une très faible augmentation de la porosité (à peine 0,33 % pour une remontée de 1 200 kg de terre).

Note * Pour repérer les nouvelles constructions, toutes les termitières ont été numérotées (plaque de fer) et recouvertes de taches de peinture au latex dont la couleur varie chaque année : cette technique s'est avérée la plus efficace de celles qui ont été testées.

Note * Nous tenons à remercier JOSENS de l'aide précieuse qu'il nous a apportée en déterminant l'espèce de termites et en fournissant les bases d'une bibliographie sur les activités de ce genre Trinervitermes.

TABLEAU 5.3. Analyse comparée des termitières de *Trinervitermes geminatus* et de différents horizons du sol en place.
- Gonsé 1968-1975 -

	Termitière épigée médiane	Sol en place					Term/Sol	Horizon le + comparable
		0-10cm	20-30	40-60	90-100	150-160		
Nombre échantillons	5	7	1	1	1	1	0-10	
Ca échangeable mé %	3,22	1,70	1,38	3,18	5,65	6,63	++	40-60
Mg " "	2,66	1,01	0,94	1,85	2,77	3,08	++	90-100
K " "	0,84	0,09	0,04	0,12	0,29	0,30	++++	?
Na " "	0,02	0,01	0,03	0,03	0,08	0,08	=	10- 20
B.E.C. (T)	6,12	3,37	4,57	6,84	8,89	9,28	++	40- 60
V = S/T %	>100	83 %	52	76	99	>100	+	90-100
pH 1/2,5 (H ₂ O)	6,7	6,8	6,3	5,9	6,3	7,0	=	0-10
Ca total mé %	4,49	2,74	2,54	3,51	5,78	7,21	++	90-100
Mg " "	5,28	3,25	3,62	6,52	7,64	10,98	++	40- 60
K " "	2,97	1,47	0,88	1,91	2,09	2,63	++	150-160
Na " "	0,43	0,32	0,32	0,32	0,40	0,53	+	120-130
C %	14,60	5,33	4,02	2,38	1,18	-	++	0- 10
N " %	0,71	0,42	0,28	0,23	0,15	-	++	0- 10
P ₂ O ₅ total %	0,22	0,14	0,15	0,15	0,14	0,14	+	?
P ₂ O ₅ Olsen %	0,05	0,02	-	-	-	--	+	0- 10
A (0-2 μ) %	16,6	7,7	14,1	41,0	40,1	40,3	++	30- 40
L.F. (2-20 μ) %	9,1	8,0	5,6	4,3	5,4	7,7	+	0- 10
L.G. (20-50 μ) %	17,3	15,2	7,4	7,5	7,0	8,2	+	0- 10
S.F. (50-200 μ) %	24,0	30,7	35,2	22,7	21,4	21,5	--	30- 40
S.G. (200-2000 μ) %	31,6	37,0	36,8	23,2	25,1	23,0	-	30- 40
SF/SG	0,76	0,83	0,96	0,98	0,85	0,93		
Fer total	1,33	1,02	1,65	3,15	3,30	4,45	+	10- 20
Fer libre	0,71	0,53	1,03	1,93	2,10	3,39	+	10- 20
K	1,32	9	1,9	4,5	2,5	1,4	-	20- 30
IS	1,46	2,43	3,22	4,94	5,44	7,76	-	?

Par contre, en moissonnant du fourrage, ces termites sont amenées à perforer la pellicule de battance et leur influence sur l'infiltration peut être remarquable : ainsi l'infiltration mesurée au Muntz est passée de 120-200 mm/h sur un sol ferrugineux sec et labouré à 10-20 mm/h sur ce même sol sec recouvert d'une pellicule de battance et remonte à 90-100 mm/h en présence d'un seul orifice de termite. De plus, il faut signaler les trous que laissent les termitières abandonnées après leur destruction par l'érosion. Les matériaux constitutifs se répandent à la surface du sol en une auréole sableuse jaune autour d'une dépression où s'engouffrent les eaux de ruissellement (voir fig. 5.1).

Les quantités de terre remontées par les termites (\pm 1.200 kg/ha/an) sont nettement supérieures aux transports effectués par l'érosion en nappe sous végétation naturelle (20 à 400 kg/ha/an). Il y a donc des dépôts qui n'ont pas du tout la même texture ni les mêmes teneurs en éléments nutritifs que le matériau constituant ces termitières. En effet, les gouttes de pluie dispersent le substrat et le ruissellement en nappe emporte sélectivement les particules fines. Il reste donc sur le terrain des éléments sableux appauvris chimiquement.

En réalité, la construction des nids épigés n'est qu'une manifestation visible de l'activité des termites qui à l'intérieur du sol, creusent des galeries, en rebouchent d'autres et brassent continuellement les horizons où elles vivent. Le remaniement continu des horizons superficiels et de la litière a des conséquences importantes. Il aboutit à une déstructuration et à un appauvrissement poussé du matériau constituant les horizons de ces types de sols ferrugineux. En rapportant en surface des matériaux sablo-argileux puisés à la limite des horizons A et B, les termites permettent l'approfondissement et l'évolution des horizons A et alimentent l'érosion sélective. Sans ces remontées, l'érosion en nappe donnerait naissance à une voile sableuse à la surface du sol qui ne pourrait évoluer jusqu'à former des horizons appauvris qui atteignent 20 à 60 cm d'épaisseur.

L'action des termites sur le lessivage des argiles est complexe. D'une part l'infiltration est accélérée ce qui pourrait augmenter une certaine "érosion interne". D'autre part, la remontée de matériaux sablo-argileux et l'évacuation des fines en surface contrarie le mouvement descendant des argiles entraînées par lessivage.

Par ailleurs, l'exposition aux intempéries de matériaux riches en bases prélevés au sommet de l'horizon B accélère très probablement la lixiviation des bases par les eaux de drainage et surtout de ruissellement.

En ce qui concerne l'humification des matières organiques, l'intervention des Trinervitermes n'est pas forcément dépressif. En effet, elles moissonnent des matières végétales qui seraient de toute façon détruites par les feux annuels. Une partie de ces fourrages (2,1 t/ha/an de matières sèche d'après certaines estimations) est d'ailleurs restituée sous forme d'excréments tapissant l'intérieur des termitières.

En définitive, l'action des termites de surface semble essentielle sur le taux d'infiltration des eaux de pluie, sur la dynamique des matières organiques des sols de savane et surtout dans le développement d'un horizon appauvri en particules

fines et lixivié en bases. Sans elle, l'érosion sélective en nappe sous végétation naturelle aboutirait à un voile de sable qui bloquerait l'évolution des phénomènes d'appauvrissement.

5.3. LE LESSIVAGE VERTICAL ET OBLIQUE

Les cases de drainage vertical (DV) et de lessivage oblique (ERLO) ont été construites en remaniant le sol au minimum en vue de mesurer les charges solubles et solides (colloïdales) des eaux de drainage à différents niveaux du sol. A GONSE, nous avons prélevé 65 échantillons de 0,2 à 20 litres représentant au total 152 litres qui, après 1 à 3 mois de délais de transport ont subi toute une série de manipulations en vue de remettre en suspensions les colloïdes, d'écarter les pollutions (filtration rapide), de flocculer la charge colloïdale et de la peser à 0,1 mgr près.

Tableau 5.4. Charges colloïdales (mg/l) des eaux de drainage recueillies sous la savane de GONSE.

	G01	G1	G2	G3	G4	G5	G.DV1	G.DV2	GDV3
Nombre éch.	26	1	1	1	3	3	14	7	9
Volumes (litre) charge	57 l	1	1	1	2,8	5,8	38	23,1	22,3
Moy. arith. mg/l	85	130	94	232	272	295	169	116	190
Moypond. mg /l	60	130	94	212	212	281	103	52	178

Les résultats ont été résumés au tableau 5.4. ; leur interprétation ne peut se faire qu'avec une grande prudence étant donné le petit nombre d'échantillons représentant certains niveaux et les modifications possibles des phases en suspension stable durant les délais de transport. Il semble cependant possible de tirer quelques conclusions.

1) la charge colloïdale varie généralement entre 20 et 300 mgr/litre ;
 2) les teneurs en colloïdes des eaux de drainage superficiel (- G1 - G2 - GDV1 et 2) semblent moins élevées (environ 100 mgr/l) que les eaux de drainage profond ayant atteint le gley (80 cm) (G3 - G4 - G5 - GDV3 : teneurs supérieures ou voisines de 200 mgr/litre) ;

3) la turbidité des eaux de ruissellement varie autour de 250 mgr/litre mais après filtration on ne retrouve plus qu'une faible fraction des colloïdes en suspension stable (60 mgr/litre).

4) la charge colloïdale diminue généralement lorsque le volume des écoulements augmente : les moyennes arithmétiques (ma) sont plus grands que les moyennes pondérées par les volumes écoulés (mp) ;

5) les observations sur la couleur des colloïdes flocculés montrent que les échantillons sombres (brun-jaune-crème) proviennent des horizons humifères tandis que les couleurs claires (jaune-crème-blanc) caractérisent généralement les colloïdes recoltés dans les eaux de drainage profond.

Malgré la dispersion des résultats (en fonction de la saison, du volume écoulé et des traitements = date du feu), il semble se dessiner deux tendances :

- d'abord une baisse des teneurs en fines de ± 250 mgr/l dans le ruissellement à ± 100 mgr/l dans les eaux de drainage circulant jusqu'à 75 cm (limite de l'horizon ocre)

- ensuite une remontée des teneurs en colloïdes des eaux de drainage une fois atteinte la zone peu aérée du gley (G³ et en dessous). L'interprétation de ces faits est complexe. Selon le schéma que nous avons déjà proposé en 1972, les colloïdes seraient mis en suspension par l'énergie des gouttes de pluie tombant sur les agrégats de la surface du sol. De cette masse d'eau boueuse, une partie ruisselle tandis que l'autre s'infiltré (turbidité ± 250 mg/l). Les eaux d'infiltration perdent une partie de leur charge solide à mesure qu'elles pénètrent dans le sol ; note 1; dès la surface, se déposent les plus grosses particules colorées par le fer et les matières organiques qui participent à la formation des pellicules de battance, ensuite vient le tour des particules de plus en plus fines et de couleur plus claire. Jusqu'au bas de l'horizon ocre sablo-argileux (80 cm) les teneurs en colloïdes sont de l'ordre de 100 mgr/litre mais ensuite la charge solide remonte à des valeurs voisines de 200 mgr/litre.

On pourrait émettre l'hypothèse selon laquelle les eaux de ruissellement s'engouffrent, lors des grosses averses, dans les mégapores laissés par les termitières abandonnées, les racines pourries et les fentes du sol pour rejoindre rapidement les horizons argileux profonds sans filtrer à travers la masse du sol. La charge colloïdale serait donc voisine de celle du ruissellement (≈ 200 mgr/l) mais les flocculats devraient être plus foncés que ceux que nous avons pu observer dans les eaux d'infiltration profonde.

Une autre hypothèse tient compte du bilan hydrique de la région, et en particulier de la profondeur atteinte par le front d'infiltration qui dépasse rarement le sommet du gley. On pourrait concevoir que les eaux de drainage déposent leur charge colloïdale dès que la tension capillaire devient trop élevée sous l'effet de l'évapotranspiration et sans qu'interviennent des conditions physico-chimiques particulièrement favorables à la floculation. Lors des grosses averses (celles qui donnent lieu aux écoulements profonds que nous avons recueillis) le front d'infiltration pourrait chasser plus bas ces dépôts colloïdaux. Ce schéma expliquerait assez bien la faible macroporosité des horizons profonds, la charge élevée en colloïdes des eaux recueillies à ces niveaux où les écoulements sont, par ailleurs, généralement réduits (donc peu dilués).

Note 1 : Les suspensions dans les eaux de ruissellement doivent être peu stables puisqu'elles passent de 250 mg/l après élimination des plus grosses particules par filtration rapide sur coton.

5.4. IMPORTANCE ET VITESSE DE L'APPAUVRISSMENT EN PARTICULES FINES.

En observant la texture actuelle des différents horizons du sol, on peut constater que les deux premiers horizons sont nettement plus pauvres en particules fines (A + L = 20 microns) que les horizons sous-jacents apparemment très homogènes jusqu'au niveau gravillonnaire. En supposant qu'à l'origine la texture du sol était la même jusqu'à la surface, il est facile de calculer l'importance de l'appauvrissement en fines sur les 30 premiers centimètres (= 1413 t/ha).

G 1 = 10 cm da = 1,59 poids terre = 1590 t/ha A + L = 7,7 + 5,4 = 13,1 %

G 2 = 20 cm da = 1,74 poids terre = 3480 t/ha A + L = 14,1 + 5,6 = 19,7 %

Appauvrissement

G 1 $\frac{(45,5 - 13,1)}{100} \times 1.590.000$

G 2 $\frac{(45,5 - 19,7)}{100} \times 3.480.000$

Total = 1413 t/ha

Il est difficile de prévoir le rythme moyen actuel d'appauvrissement ne fusse que parce que la durée de nos observations fut courte par rapport à l'âge du sol et que les précipitations furent déficitaires. Nous essaierons cependant de déterminer une fourchette de temps nécessaire pour aboutir au profil actuel en supposant que le rythme des phénomènes ne diffère pas trop de celui que nous pouvons observer actuellement.

L'appauvrissement ne concernant que les horizons superficiels gris et beige, nous tiendrons compte de la charge colloïdale moyenne observée à ces niveaux (soit 100 mgr/litre) et des volumes drainés correspondant. (voir tableau 3.8) voir note 2

Tableau 5.5 Vitesse de l'appauvrissement sous différentes hypothèses

Rythme	:	lent	:	moyen	:	rapide
Lessivage vertical kg/ha/an	:	0	:	68	:	230
Lessivage oblique "	:	0	:	0,4	:	2
Erosion sélective "	:	11,2	:	84	:	229,6
Total	:	11,2	:	152,4	:	461,6
Temps de l'appauvrissement	:		:		:	
Hyp (1 A + L = 45,5 %	:	126.000	:	9.300	:	3.100 ans
(2 A + L = 25 %	:	33.400	:	2.500	:	810 ans

1) Appauvrissement par les eaux de drainage vertical (= lessivage vertical)

- Charge solide = 100 mgr/l ou 0,1 kg/m ³			
	Rythme :	lent	: moyen : rapide
- Volume drainé (mm)	:	0	: 68 mm : 230 mm
- Lessivage kg/ha/an	:	0	: 68 kg/an : 230 kg/ha

2) Appauvrissement par drainage oblique

- Charge solide = 100 mgr/l	:	:	:
- Volume D. oblique (mm)	:	0	: 0,4 mm : 2 mm
- Lessivage kg/ha/an	:	0	: 0,4 kg/ha : 2 kg

3) Erosion sélective

- Poids de terre érodée kg/ha	:	20	: 150 : 410 kg/ha
- taux = (48 + 21,1 %) - 13,1 % = 56 %			
- Appauvrissement kg/ha/an	:	11,2	: 84 : 229,6 kg
- Appauvrissement total kg/ha/an	:	11,2	: 152,4 : 461,6
<u>Hyp n° 1</u> Profil homogène au départ = 45,5 %	:	:	:
Temps nécessaire an	:	126. 610	: 9.272 : 3.061 ans

Hyp n°2 Deux cycles de sédimentation : 45,5 % de A + L jusqu'à 30 cm
 : 25 % - de 30 cm à la surface

- Dans ce cas l'appauvrissement est moins important

$$G 1 = 1590 \text{ t/ha} \times \frac{(25 - 13,1 \%)}{100} = 189,21 \text{ t/ha}$$

$$G 2 = 3480 \text{ t/ha} \times \frac{(25 - 19,7 \%)}{100} = 184,44 \text{ t/ha}$$

$$\text{Total} \quad 373,65 \text{ t/ha}$$

	Rythme :	lent	: moyen : rapide
- Temps nécessaire	:	33.362 ans	: 2.452 ans : 809 ans

Au tableau 5.5 sont résumés les résultats des calculs reportés dans la note n° 2. On arrive selon l'importance de l'érosion et du drainage à un appauvrissement annuel variant de 12 à 152 et 462 kg/ha/an d'argile + limonfin (0 à 20 microns). Si on considère qu'à l'origine l'ensemble du profil avait une texture homogène (dont 45,5 % de AIL et appauvrissement de 1413 t/ha), le temps nécessaire pour aboutir au stade actuel varie de 126.000 ans au maximum (si végétation protégée et précipitations déficitaires) à 3.100 ans (si végétation dégradée par feu tardif et drainage intense) ; la moyenne pourrait se situer autour de 9 300 ans dans le cas d'une savane peu dégradée (feu précoce, pâturage extensif) et de précipitations voisines de 800 mm. Dans les mêmes conditions, mais sous culture où l'érosion atteint facilement 3 t/ha/an, l'appauvrissement annuel s'élèverait à 1912 kg/ha/an et il suffirait de 740 ans pour retrouver un horizon appauvri semblable à celui qu'on observe actuellement. Ceci souligne l'influence de la végétation et des activités humaines sur le développement des horizons appauvris. Sur les sols ferrallitiques de basse COTE - d'IVOIRE, le lessivage vertical est l'agent principal de l'appauvrissement. Dans le cas du sol ferrugineux tropical de la savane de GONSE, il n'en va pas de même : l'érosion sélective surpasse généralement le lessivage même dans le milieu naturel. En milieu cultivé, l'érosion en nappe est généralement le moteur de l'appauvrissement en particules fines des horizons superficiels.

Nous pourrions aussi considérer l'hypothèse selon laquelle le sol que nous observons actuellement est la résultante de pédogenèses successives sur des matériaux déposés successivement parmi lesquels on distinguait :

- 1° une phase de cuirassement ancienne (SF / SG = 0,47 à 0,29) ;
- 2° une phase de sédimentation fine argilo-sableuse (SF / SG = 0,70 à 0,98) dans des conditions de drainage externe déficient (d'où le pseudogley ancien) ;
- 3° une phase de sédimentation plus grossière (SF / SG = 0,96).

Les horizons superficiels ont également subi un appauvrissement en fines mais beaucoup plus faible que dans l'hypothèse d'un matériau originel homogène. En prenant arbitrairement un taux d'A + L = 25 % dans le matériau ayant donné naissance aux horizons appauvris, on calcule un appauvrissement de l'ordre de 374 t/ha et une période nécessaire pour atteindre le stade actuel variant de 33.000 ans à moins de 810 ans. (moyenne 2.500 ans). (voir tableau 5.5)

Certes les fourchettes de temps évoquées (1000 à 126.000 ans) sont énormes mais en considérant les moyennes on peut dire que sous la végétation de savane plus ou moins dégradée par le feu et le climat que nous connaissons actuellement il faut compter 1000 à 10.000 ans pour appauvrir au stade actuel les trente premiers centimètres du sol.

Mais quel peut-être le rôle des termites dans ces processus ? Si on compte environ 1.200 kg de matériaux argilo sableux (A + L = 25,7 %) ramenés en surface annuellement et étalés à la surface du sol (puisque les inventaires successifs montrent que la population de termitière est stable à GONSE), on trouve que l'apport de fines excédentaires (25,7 - 13,1 % de A + L de G 1) par les termites est de l'ordre de 151 kg/ha/an soit exactement le poids moyen de fines évacuées par érosion sélective et lessivage (voir tableau 5.5)

Les termites prélèvent au sommet de l'horizon argilo-sableux des matériaux relativement riches en fines, les mélangent avec les résidus de la digestion des litières et construit au-dessus du sol des édifices soumis à l'agressivité des pluies. Après abandon des nids, l'érosion étale ces matériaux tout en prélevant sélectivement une fraction des particules fines et des éléments nutritifs. Le travail de mixage accompli par la mésofaune aboutit ainsi à la formation et au développement d'un horizon humifère mais appauvri en fines et lixivié en bases.

5.5. CONCLUSIONS SUR LES PHENOMENES D'APPAUVRISSMENT

On pourrait interpréter l'appauvrissement en particules fines des horizons superficiels de nombreux sols tropicaux comme la résultante des phénomènes d'érosion sélective, de lessivage oblique et vertical, de la destruction des argiles et de l'activité de la mésofaune.

Tous ces phénomènes sont simultanés mais d'importance inégale en fonction des conditions écologiques (climat et végétation).

Sur les sols ferrallitiques très désaturés et recouverts de forêt dense que nous avons observés en basse COTE d'IVOIRE le phénomène dominant semble le drainage vertical entraînant la lixiviation des bases, de l'azote et de la silice ainsi que le lessivage des particules fines ne floculant que très progressivement tout au long du profil (ROOSE et COLL 1970 ; ROOSE, GODEFROY 1977).

Sur les sols ferrugineux tropicaux du plateau MOSSI autour de OUAGADOUGOU, le pédoclimat est tout différent. Le pouvoir évaporant de l'air, le ruissellement et la faible perméabilité du sol sont tels que les précipitations s'infiltrent rarement très profondément. Le drainage oblique est très réduit et le drainage vertical est beaucoup moins développé qu'en zone tropicale humide. Bien que l'érosion soit relativement faible sous la savane à cause de la modestie des pentes, elle est très sélective si bien que c'est principalement sous son action que les horizons superficiels s'appauvrissent. En creusant leurs galeries, les termites brassent les horizons humifères, leur donnent une structure complètement différente des matériaux sous-jacents et en remontent en surface des matériaux plus riches en fines, nourrissent l'érosion sélective et favorisent le développement des horizons appauvris. Quant à la destruction des argiles dont la présence de silice en solution serait un signe, elle peut exister mais son amplitude est faible puisqu'il y a peu d'alumine dans les eaux et aucun indice d'accumulation alumineuse dans le sol.

Il est raisonnable de penser qu'une partie de cette silice provient de la dissolution de la silice contenue dans la végétation (20 à 100 kg de SiO_2 dans les cendres des herbes d'une savane du même type à SARIA) et de la solubilisation des quartz qui constituent plus de 50 % du sol. Ces résultats sont voisins de ceux que FAUCK a trouvé dans sa thèse sur les sols ferrallitiques rouges qui occupent des zones climatiques voisines.

CHAPITRE 6. RESUME ET CONCLUSIONS GENERALES

Grâce à la collaboration entre l'O.R.S.T.O.M. et le C.T.F.T. en HAUTE-VOLTA, de nombreuses observations concernant la pédogenèse actuelle d'un sol ferrugineux tropical "lessivé" hydromorphe ont été réalisées sur une parcelle de 250 m² sous savane arborescente soudano-sahélienne située à une trentaine de kilomètres à l'est de OUAGADOUGOU. Le dispositif expérimental comprend une case de mesure du ruissellement et du lessivage oblique (ERLO), trois cases de drainage vertical (DV) et huit parcelles de mesures des remontées de terre par les termites. Les observations couvrent sept années durant lesquelles la savane fut soumise successivement à des feux précoces (1968-69), à la protection intégrale (1970-71) et à des feux tardifs (1972 à 74).

Après avoir passé en revue les principaux résultats, nous dégagerons quelques conclusions concernant la pédogenèse actuelle de ce sol ferrugineux et la mise en valeur agricole.

6.1. RESUME DES RESULTATS D'OBSERVATION

1) Les précipitations annuelles furent à peu près normales en 1968 et 70 mais plus ou moins largement déficitaires les autres années par rapport à la normale (860 mm). Cependant si ces années furent désastreuses pour l'agriculture, elles n'ont pas été inactives pour la pédogenèse : il y eut des averses et surtout des séquences pluvieuses au cours desquelles se sont manifestés des phénomènes d'érosion et de drainage. Hauteur et intensité des précipitations sont généralement moins élevées qu'en zone tropicale humide : on peut cependant observer des averses de même agressivité mais de fréquence plus rare. Ainsi, chaque année, on n'observe à ABIDJAN une ou plusieurs pluies de 150 mm ce qui n'arrive à OUAGADOUDOU que tous les 50 ans. A GONSE, on peut observer chaque année une pluie de plus de 60 mm avec des intensités de 100 mm/h pendant 10 minutes et 60 mm/h pendant 30 minutes, intensités qui dépassent largement la vitesse d'infiltration dans le sol, surtout si celui-ci est recouvert par une pellicule de battance. L'agressivité de ces pluies est élevée : l'indice d'agressivité climatique annuel (RUSA de WISCHMEIER) a varié de 189 à 407 unités mais atteindrait 430 en moyenne sur une longue période. L'agressivité des pluies dans cette région sèche est cependant nettement moins forte qu'en région tropicale humide mais la végétation y couvre beaucoup moins bien le sol.

2) Le ruissellement est relativement abondant sous cette savane : il dépend beaucoup plus de l'état du couvert végétal (donc des feux de brousse) que de la hauteur des précipitations annuelles. En moyenne annuelle, il ne dépasse pas 0,3 % des pluies si la savane est intégralement protégée mais atteint 3 % si les feux de brousse sont précoces et 10 - 16 % si les feux sont tardifs.

Les coefficients maxima de ruissellement lors d'une forte averse s'élèvent respectivement à 1 - 10 et 50 à 70 % dans ces mêmes circonstances. A GAMPELA situé à quelques kilomètres, les expérimentations du C.T.F.T ont montré que le ruissellement peut atteindre 2 à 45 % des pluies annuelles sous culture en fonction des techniques culturales. Sur ce type de sol ferrugineux peu perméable, le ruissellement peut donc prendre des proportions intolérables dans cette zone où les plantes souffrent du manque d'eau plus encore que des carences en nutriments.

3) L'érosion mécanique est faible sous cette savane : elle varie de 20 à 50 kg/ha/an si la végétation est protégée, de 150 kg/ha/an si les feux sont allumés précocement et 300 à 410 kg/ha/an s'ils sont tardifs. Les transports solides sont donc réduits à cause de la faiblesse de la pente (0,5 %) : ils sont contrôlés davantage par le développement du couvert végétal que par la hauteur des pluies annuelles et leur indice d'érosivité. La turbidité des eaux de ruissellement passe de 150 - 250 mgr/litre lorsque la végétation est protégée à 300 - 580 mgr/litre lorsque les feux tardifs ont réduit le sous-bois. A GAMPELA sous culture, l'érosion s'est élevée de 1,5 à 10 t/ha/an sous culture et jusqu'à 21 t/ha/an sur sol nu travaillé. L'érosion potentielle calculée d'après l'équation "USLE" de WISCHMEIER varie de 18 à 52 t/ha/an en fonction de la largeur des champs et de l'évolution de l'érodibilité du sol. Si les déplacements de terre sous cette savane du plateau MOSSI sont forcément limités car la pente est modeste, l'érosion reste dangereuse car elle arrache sélectivement les particules fines et les nutriments qui constituent le support de la fertilité de ces sols.

4) Le drainage oblique est très limité (0 à 156 litres en moyenne 30 litres - an ou 0,4 mm) dans les horizons appauvris sableux et au-dessus de la carapace. Il est probable qu'il ne se manifeste pas sur l'ensemble de la toposéquence mais qu'il forme des poches d'eau libre, localisées et temporaires qui pourraient n'être pas étrangères à la répartition des sols en mosaïques et à la formation de taches de sols riches en argiles gonflantes.

5) Le drainage vertical est un peu moins réduit : il a varié de 0 à 154 mm dans les lysimètres situés vers 50 cm et de 0 à 16 mm en-dessous de 90 cm de profondeur. On est loin du drainage observé en zone tropicale humide (500 à 1300 mm près de ABIDJAN) : la faiblesse des précipitations et l'ampleur du ruissellement et de l'évapotranspiration potentielle en sont la cause. En tenant compte d'une part des variations du stock d'humidité du sol (76 mm sur 50 cm, 136 mm sur 100 cm et 194 mm jusqu'à la cuirasse) et d'autre part des moyennes mensuelles (sur une longue période) des précipitations, du ruissellement et de l'ETP, on calcule que le drainage moyen au-delà des 50 premiers centimètres du sol atteint 143 mm, au-delà de 100 cm il se limite à 83 mm et à 25 millimètres seulement peuvent percoler à travers l'ensemble du profil.

Contrairement à ce qui se passe en zone tropicale humide, le drainage vertical n'est plus en zone sèche le moteur principal de l'évolution de ces types de sol.

En comparant les bilans estimés d'une année sèche et d'une année humide, on trouve que si les précipitations augmentent de 385 mm, l'ETR croît de 230 mm, le ruissellement de 40 mm et le drainage de 116 mm : l'augmentation de l'eau disponible sert principalement à nourrir les plantes, d'où l'intérêt en zone sèche de lutter pour supprimer le ruissellement et garder sur place toutes les eaux des précipitations ... elles améliorent les rendements.

6) De nombreuses analyses d'eau et de sol ont été effectuées par les laboratoires de l'O.R.S.T.O.M. en COTE d'IVOIRE ; elles permettent de schématiser le bilan chimique (voir tableau 4.10). Sous la savane arborescente de GONSE les apports par les pluies, les aérosols et les remontées biologiques (herbes, feuilles d'arbres et activité des termites, etc...) sont plus faibles que sous la forêt dense humide mais les pertes par érosion et surtout par drainage sont encore plus réduites.

la végétation est protégée le bilan semble légèrement positif, mais les flux sont faibles par rapport aux stocks contenus dans le sol et, dans une moindre mesure, dans la végétation arborescente. En absence de feu et de toute exploitation, on constate un enrichissement rapide de la végétation arborescente, une augmentation de production végétale donc de la litière, une baisse sensible des pertes et une lente amélioration du stock de nutriments dans les horizons superficiels. Par contre, si la savane est soumise à des feux abusifs, on observe une dégradation générale de la végétation, de la faune et du sol : le feu prive en effet le sol et les plantes des remontées en nutriments, et de la fixation d'azote et des matières organiques qui sont naturellement issues des litières. Dans ce milieu tropical sec, la dégradation du couvert végétal n'entraîne pas un développement catastrophique du drainage mais plutôt la destruction des agrégats de l'horizon superficiel, la formation d'une pellicule de battance et ensuite des taux de ruissellement intolérables dans cette zone qui souffre du manque d'eau peut-être encore plus que des carences en azote et en phosphore. Enfin, l'analyse des pertes montre que les bases et l'azote circulent en majorité sous forme soluble tandis que le carbone, la silice et surtout le fer et l'alumine migrent en association avec des particules solides.

7) La charge colloïdale des eaux de drainage et de ruissellement a été mesurée sur 65 échantillons représentant 152 litres : elle est assez variable (20 à 300 mgr/l en général) mais voisine de 100 mgr/litre pour les eaux de drainage superficiel et un peu plus de 200 mgr/l pour les eaux de drainage profond recueillies à plus de 80 cm e.a.d. dans le gley.

On peut essayer de chiffrer l'importance de l'appauvrissement constaté dans les 30 premiers centimètres. En admettant que l'ensemble du profil était homogène au départ (A + L = 45,5 %), on calcule que 1413 t/ha de particules fines (moins de 20 microns) ont quitté les 2 premiers horizons.

Si par contre on suppose qu'il y eu plusieurs stades de sédimentation et que par exemple les teneurs en fines des 30 derniers centimètres étaient initialement de l'ordre de 25 %, l'appauvrissement ne dépasserait pas 374 t/ha/an.

L'érosion en nappe sous savane entraîne sélectivement en moyenne 84 et au max. 230 kg/ha/an de fines sous la savane de GONSE. Le lessivage oblique est négligeable (0,4 à 2 kg/ha/an) et le lessivage vertical au-delà de 50 centimètres de profondeur peut atteindre 68 kg en moyenne à 230 kg/ha/an au maximum.

Le temps nécessaire pour réaliser cet appauvrissement varierait donc d'environ 1000 ans à 10.000 ans (et même plus si les précipitations diminuent)-selon les hypothèses choisies - si les conditions actuelles climatiques restent semblables. Ce rythme peut être accéléré soit par une augmentation des précipitations soit surtout par une modification du couvert végétal. Or il est certain qu'en dehors de la forêt classée de GONSE la plupart des sols ferrugineux situés sur le plateau MOSSI sont cultivés durant au moins 20 à 80 % du temps : il suffirait alors de moins d'un millénaire pour expliquer l'appauvrissement constaté sur la plupart de ces sols.

8) Les observations réalisées pendant 5 ans sur les nombreuses petites termitières construites par une population en équilibre d'un genre de termite moissonneur (*Trinervitermes*) ont montré qu'il s'y trouve environ 1300 nids épigés par hectare représentant en moyenne 8,1 tonnes de terre à l'hectare et se renouvelant tous les 7 ans. Les remontées de terre s'élèvent à plus de 1200 kg/ha/an. Ces terres ont été prélevées à la limite de l'horizon ocre riche en argile et mélangées à celles des horizons supérieurs et aux résidus de la digestion plus ou moins avancée de la litière : elles sont plus riches en colloïdes (organiques et minéraux) et en nutriments que le sol superficiel avoisinant. Outre l'impact de l'activité des termites sur le bilan des matières organiques (consommation de cellulose mais protection d'une partie des pailles contre les feux) et sur l'amélioration de l'infiltration (galeries et perforations de la pellicule de battance pour atteindre le fourrage) le rôle essentiel des termites (fourmis et vers) semble de brasser les horizons superficiels, d'alimenter en particules fines l'érosion sélective et par conséquent de permettre le développement des horizons appauvris.

6.2 LA PEDOGENESE ACTUELLE.

Nos études antérieures sur les sols ferrallitiques observées sous différentes forêts denses ont abouti à la conclusion que le principal moteur de l'évolution actuelle de ces sols sous végétation naturelle est le drainage vertical très abondant à certaines périodes de l'année et qui entraîne la lixiviation des solubles et le lessivage des colloïdes. Sous culture, l'érosion en nappe accélère l'appauvrissement en fines des horizons superficiels.

Sous la savane soudano-sahélienne, les conditions écologiques sont fort différentes. Le drainage vertical est réduit parce que le pouvoir évaporant de l'air est très élevé même en saison des pluies, parce que les précipitations sont moins abondantes et enfin parce que le ruissellement est plus développé du fait de la structure du sol (pellicules de battance et sols moins perméables). Les échanges avec les horizons profonds peu perméables sont réduits et les risques de migration des éléments nutritifs solubles hors de portée des racines sont restreints sauf à l'occasion de séquences pluvieuses particulièrement denses. Tant que le drainage n'est pas abondant et que les eaux libres ne circulent pas rapidement dans les macroporosités, le lessivage des colloïdes ne progresse que très lentement car les migrations lentes entraînées par les eaux sous tension peuvent être compensées lors des phénomènes d'évapotranspiration.

La zone des précipitations annuelles moyennes de 700 millimètres semble la limite en dessous de laquelle l'alimentation des nappes profondes ne se fait plus régulièrement si toutefois le sol est assez profond pour avoir une capacité de rétention en eau suffisante (150 mm).

Par contre le ruissellement est important (3 à 15 % sous savane, 2 à 45 % sous culture) ; il peut prendre des proportions intolérables (50 à 70 % lors de certaines averses) dans cette zone où les plantes manquent peut être encore plus d'eau que de minéraux (N - P - K). L'érosion en nappe reste relativement faible à cause des pentes très modestes mais elle est pernicieuse car elle entraîne sélectivement les particules fines, les matières organiques et les nutriments : elle réduit ainsi de façon irréversible la capacité de rétention en eau et en éléments nutritifs des horizons superficiels, les plus exploités par le monde vivant.

L'appauvrissement en fines observé dans les horizons superficiels des sols ferrugineux tropicaux est la résultante de phénomènes de lessivage assez réduits et surtout de la sélectivité de l'érosion en nappe que l'on peut observer sous savane et plus encore sous culture ; en effet, la pente étant généralement faible, la compétence * du ruissellement reste faible même si la masse de terre déplacée s'accroît de telle sorte que l'indice de sélectivité de l'érosion sur les sols ferrugineux est bien plus élevé que sur les sols ferrallitiques (généralement plus pentus).

L'érosion sélective des particules fines aboutirait à la production d'un voile de sable et de gravillons (analogue aux regs du désert) sans l'intervention de l'homme qui le laboure ou de la mésofaune qui ramène en surface des matériaux fins puisés en profondeur, brasse continuellement les horizons superficiels et permet ainsi le développement des horizons appauvris.

Note * : Compétence = taille des particules transportées par un fluide.

Capacité = charge transportée par ce fluide.

6.3. ESSAIS D'INTERPRETATION DU PROFIL PEDOLOGIQUE

Suite à l'étude morphologique et aux résultats analytiques, nous avons conclu que le sol pouvait être classé parmi les sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions, hydromorphes sur cuirasse.

D'après les pédologues consultés (note 1) on peut insister d'avantage sur l'hydromorphie, l'induration en profondeur ou l'origine allochtone d'une partie des matériaux mais l'interprétation globale est la même : elle tient compte :

- 1) de la succession des horizons gris humifère et appauvri, beige appauvri, ocre argileux et pseudo-gley.
- 2) de la succession texturale : horizons sableux - argileux - induré grossier.
- 3) des manifestations d'hydromorphie : taches, concrétions, pseudo-gley.

Or nos observations sur le terrain et en laboratoire, nos bilans hydriques chimiques et colloïdaux montrent que actuellement, l'évolution du sol ne suit pas ce schéma de pédogenèse.

1) Le bilan hydrique montre qu'il y a très peu de drainage et comme la charge colloïdale des eaux de drainage est limitée (100 mgr/l en moyenne dans les horizons appauvris) le lessivage actuel (vertical et oblique) est réduit. Or si nous considérons que le niveau argilo-sableux est un horizon B_2 illuvial, cela suppose un lessivage considérable puisque sa texture est homogène ($A + L = 45,5 \%$) sur 140 cm (de 30 à 170 cm).

2) L'hydromorphie ne semble plus fonctionnelle en profondeur en année normale (1968 et 1970). Il n'est pas sûr que la fréquence des années à précipitation exceptionnellement abondante soit suffisante pour expliquer la présence d'un pseudo-gley bien caractérisé sur 90 cm. De plus la durée pendant laquelle le sol peut-être engorgé est réduite à 1 ou 2 mois : en effet le pouvoir évaporant de l'air est tel, qu'un mois après la dernière pluie significative, le profil se retrouve au point de flétrissement permanent.

3) Par contre, nous avons constaté un appauvrissement en particules fines beaucoup plus actif sur ces pentes très modestes du plateau MOSSI que dans la zone tropicale humide. Si l'érosion est limitée à 150 kg/ha sous savane et à 1 à 10 t/ha/an sous culture, ce ne sont pratiquement que des particules fines qui s'échappent des versants étant donnée la faible compétence du ruissellement sur ces pentes très peu accusées.

4) L'analyse granulométrique de la terre fine montre que l'horizon ocre et le pseudo-gley ont une concentration en argile plus limon fin très constante. ($A + L F. \#45,5 \%$) : il n'y a pas de trace d'un ventre textural classique.

Note 1 Nous avons présenté le profil sous forme de mottes à Monsieur FAUCK en mars 1968 et à Messieurs MAIGNIEN, PERRAUD et de BOISSEZON en mars 1970.

Monsieur KALOGA a pu l'observer directement sur place en mars 1970. Que chacun trouve ici nos remerciements pour leur collaboration.

Deux types d'interprétation du profil sont possibles.

- Soit il s'agit d'un sol ferrugineux tropical lessivé ancien sur cuirassement de type ferrallitique encore plus ancien. L'ensemble aurait été tronqué et soumis actuellement à un climat plus sec que celui qui a présidé au lessivage : d'où une pédogenèse actuelle plus lente et orientée vers l'appauvrissement (Note personnelle de MAIGNIEN du 12 - 9 - 1970).

- Soit il s'agit d'un sol ferrugineux tropical appauvri composé d'un ou de plusieurs matériaux déposés jadis et successivement dans des conditions de mauvais drainage externe.

D'après KALOGA (après observation du profil en mars 1970), on pourrait envisager la succession suivante :

- 1) Cuirassement ancien fossilisant le moyen glacis sur matériau bigarré (= altération ferrallitique sous climat beaucoup plus humide).
- 2) Dépôts argilo-sableux sur ce glacis à pente faible et mal organisée (d'où la variété des taches de sols et le pseudo-gley non fonctionnel actuellement).
- 3) Appauvrissement actuel de ce matériau ou d'un autre plus sableux par érosion sélective (le lessivage est secondaire et limité aux horizons tout à fait superficiels).

6.4. CONCLUSIONS PRATIQUES

Ce type de sol ferrugineux tropical présente un milieu physique défavorable aux cultures car il est très sensible à la battance des pluies, sa structure est mauvaise, sa perméabilité, son aération et sa porosité sont insuffisantes. Il est donc utile d'intervenir pour améliorer sa structure et sa capacité d'infiltrer et de stocker les précipitations en adoptant une politique de conservation des matières organiques, le labour en fin de cycle lorsque c'est possible et tous travaux culturaux qui permettent le développement en profondeur des racines et brisent la pellicule de battance. Les travaux culturaux sur plantations forestières effectués à GONSE et GAMPELA par le C.T.F.T. et à SARIA sur diverses cultures par l'I.R.A.T montrent bien leur importance.

Sur le plan chimique, ces sols de savane sont généralement carencés en azote et en phosphore ; calcium, magnésium et potassium ne s'épuisent généralement qu'après 5 à 10 ans de culture intensive à moins d'exporter toutes les pailles. (voir travaux DUPONT, JENNY, POULAIN, ARRIVETS).

Le climat étant peu lixiviant, les pertes en éléments nutritifs sont faibles par drainage et par érosion et les doses d'engrais à apporter sont modestes : 50 unités d'azote, 50 kg de P_2O_5 et 30 kg/ha de K_2O par an pour un assolement classique à base de sorgho, mil ou maïs (POULAIN, ARRIVETS, 1971).

Mais la plus forte carence dont les plantes ont à souffrir c'est le manque d'eau car les pluies sont irrégulières, le pouvoir évaporant de l'air est élevé, l'infiltration est déficiente, le ruissellement est abondant, les racines ne se développent pas assez ni assez profondément dans le sol trop compact et mal aéré.

Une des clés du problème réside dans l'utilisation optimale des matières organiques -en particulier des résidus de culture- et dans l'adaptation des techniques culturales. Or en pays MOSSI, les pailles sont soit brûlées sur place soit pâturées par le bétail soit utilisées pour améliorer l'habitat (toit, cani, etc...), cuire les aliments ou pour diverses activités artisanales. Dans l'aménagement du territoire il faut donc prévoir des plantations forestières assurant les besoins domestiques et des réserves de savane herbeuse pour le bétail et les activités artisanales traditionnelles. De toute façon, il sera extrêmement difficile de persuader le paysan de la nécessité de laisser sur le terrain toute la paille qui constitue pour lui une part non négligeable de la production. Il acceptera peut-être plus facilement l'élevage des boeufs dressés pour l'aider aux travaux culturaux, le retour aux champs d'un faible tonnage de fumier et la pratique d'une sole fourragère temporaire (variante des engrais verts).

Il nous semble enfin urgent de répartir les cultures dans le paysage en fonction des potentialités de chaque site : dans les bas-fonds, concentrer les rizières, cultures maraîchères et fourragères intensives, sur les plateaux des cultures fruitières associées aux cultures sèches traditionnelles, sur les plateaux cuirassés et les éboulis les pâturages extensifs et des boquetaux fournissant le bois de chauffage. La récupération systématique des eaux de ruissellement provenant des plateaux pourrait améliorer la production des glacis et diminuer les dégâts dans les bas-fonds.

REMERCIEMENTS

Nous sommes très reconnaissant à Monsieur AUBERT, ancien chef de la section de Pédologie de l'O.R.S.T.O.M., à Monsieur FOURNIER mon directeur Scientifique et Monsieur RODIER, mon parrain scientifique de m'avoir confié ce programme de recherche passionnant.

Nous remercions d'autre part la Direction du C.T.F.T. d'avoir compris l'intérêt d'une recherche fondamentale débouchant directement sur des applications pratiques, et ses représentants locaux, Messieurs BIROT, GALABERT, DELWAULLE et PIOT d'avoir pris en charge les manipulations de terrain.

La mise au point de l'analyse des échantillons d'eau et le soin apporté au travail de série sont particulièrement importants pour la réalisation d'un tel programme. Qu'il nous soit permis d'en remercier ici Messieurs NALOVIC, chef du laboratoire central d'analyse de l'O.R.S.T.O.M. d'ADIOPODOUME, Monsieur GOUZY qui lui a succédé en juillet 1968 ainsi que toute l'équipe des techniciens européens et africains sans lequel cet imposant travail d'analyse n'aurait pu être réalisé. Monsieur HANRION a eu la gentillesse de nous réaliser une série de lames minces qui nous permettront de vérifier certains points d'interprétation. Monsieur TALINEAU nous a aidé à effectuer des études particulières sur monolithes et d'approcher de façon détaillée la caractérisation physique du profil. Que tous nos collaborateurs du Centre d'ADIOPODOUME trouvent ici l'expression de notre reconnaissance.

Enfin, nous tenons à exprimer notre gratitude à tous ceux qui par leurs conseils, leur discussion et leurs critiques constructives ont fait progresser la réflexion sur les problèmes de dynamique actuelle des sols : en particulier Messieurs AUDRY, BIROT, de BOISSEZON, CHATELIN, LELONG, TRICHET et FAUCK.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 ARRIVETS (J), ROOSE (E), CARLIER (P), 1973.
 - Etude du ruissellement, du drainage et de l'érosion sur des sols ferrugineux de la région CENTRE HAUTE-VOLTA (station de SARIA)
 - Dispositifs d'étude et premiers résultats (1971).
 - Annexes.
 - Rapport IRAT/H.V. O.R.S.T.O.M. / ABIDJAN 85 + 88 p. multigr.

- 2 AUBERT (G), TAVERNIER (R), 1972.
 - "Soil survey" in "soils of the humid tropics"
NATIONAL ACADEMY of SCIENCES, WASHINGTON D.C, 218 p.

- 3 AUDRY (P), 1967.
 - Observations sur le régime hydrique comparé d'un sol ferrugineux tropical faiblement lessivé sous savane et sous culture. O.R.S.T.O.M.
FORT-LAMY, 26 p. multigr. Colloque TANANARIVE 1967.

- 4 BERTRAND (A.R.), KAMIL SOR, 1962.
 - The effects of rainfall intensity on soil structure and migration of colloïd materials in soils. Soil Sc. Soc. Amer. Proc., 26, 3 p. 297 - 300.

- 5 BIROT (Y), GALABERT (J), 1970.
 - Bioclimatologie et dynamique de l'eau dans une plantation d'Eucalyptus.
C.T.F.T. OUAGADOUGOU 48 p. multigr.

- 6 BIROT (Y), GALABERT (J), 1969 et 1970.
 - Economie de l'eau et travail du sol dans les plantations forestières de zone sèche. Application à la zone Sahélo-Soudanaise.
 - Bois et Forêts des Tropiques (n° 127 p. 29 à 44
(n° 128 p. 23 à 37
(n° 129 p. 3 à 21

- 7 BRUNET-MORET (Y), 1967.
 - Etudes générales des averses exceptionnelles en AFRIQUE OCCIDENTALE : République de HAUTE-VOLTA.
 - Rapport O.R.S.T.O.M. - C.I.E.H., 23 p. multigr.

8. CHARREAU (C), 1969.

- Influence des techniques culturales sur le développement du ruissellement et de l'érosion en CASAMENCE.

VII Congrès Int. G.R., BAMBEY, 13 p.

9 CHARREAU (C), NICOU (R), 1970.

- Amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest Africaine et ses incidences agronomiques.

I.R.A.T. BAMBEY 339 p.

10 CHRISTOÏ (R), 1966.

- Mesure de l'érosion en HAUTE-VOLTA. Oléagineux, 21,8 - 9, p.531-534.

11 Commission de Pédologie et de Cartographie des sols (C.P.C.S.) - 1967.

- Classification des sols.

- C.P.C.S., 87 p. multigr.

12 C.T.F.T., 1966.

- "L'équation Universelle de perte de sols de WISCHMEIER"

C.T.F.T., MADAGASCAR. , 15 p. multigr.

13 C.T.F.T. / HAUTE-VOLTA, 1973.

- Rapport de synthèse de 1972.

C.T.F.T. / Min. Agri. HAUTE-VOLTA OUAGADOUGOU, 46 p. multigr.

14 C.T.F.T. / HAUTE-VOLTA, 1974.

- Rapport de synthèse de 1973.

C.T.F.T. / Min. Agri. OUAGADOUGOU, 56 p. multigr.

15 DELWAULLE (J.C.), 1973.

- Résultats de 6 années d'observations sur l'érosion au NIGER.

Bois et Forêts des Tropiques 150, p.15 - 37.

16 FAUCK (R), 1970.

- Evolution des quartz dans les sols rouges ferrallitiques développés sur les roches sableuses et gréseuses de l'AFRIQUE OCCIDENTALE.

C.R. Acad. Sci. PARIS, t 271, p 2273 - 76.

17 FAUCK (R), 1972.

- Les sols rouges sur sables et sur grès d'AFRIQUE OCCIDENTALE.

Mémoire O.R.S.T.O.M. PARIS n° 61 257 p.

- 18 FOURNIER (F), 1967
- La recherche en érosion et conservation des sols sur le continent africain.
Sols AFRICAINS, 12, pp. 5 - 53
- 19 GALABERT (J), MILLOGO (E), 1973.
- Indice d'érosion de la pluie en HAUTE-VOLTA. C.T.F.T OUAGADOUGOU 34 p.
- 20 GARDNER (L.L), 1970.
- A chemical model for the origin of gibbsite from kaolinite
Ame. Minéral., 55, P 1380 - 1389.
- 21 GOUZY (M), 1973.
- Méthodes d'analyses utilisées dans le Laboratoire Central d'Analyse du
Centre O.R.S.T.O.M d'ADIOPODOUME.
- 22 JENNY (F), 1965.
- Sols et problèmes de fertilité en HAUTE-VOLTA.
Agron. Trop., 2, p. 220 - 247.
- 23 JOSENS (G), 1972.
- Etudes biologique et écologique des termites de la savane de LAMTO-PAKOBO
(COTE IVOIRE).
Thèse Fac. Sci. BRUXELLES, 262 + 23 p. multigr.
- 24 JOSENS (G), 1974.
- Les termites de la savane de LAMTO. Bulletin liaison chercheurs LAMTO
N° spécial 1974, 5, pp 91 - 131.
- 25 LELONG (F), LEMOINE (J), 1968.
- Les nappes phréatiques des arènes et des altérations argileuses. Leur
importance en zone intertropicale. Les difficultés de leur exploitation.
BULL. BRGM, 2, III, 2 p. 41 - 52.
- 26 LELONG (F), TARDY (Y), GRANDIN (G), TRESCASES (J.J), BOULANGE (B), 1976.
- Pedogenesis, chemical weathering and process of formation of some super-
gene ore deposits.
in Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits
Ed. K.H. WOLF. ELSEVIER, ANSTERDAM p 93 - 173.

27 MAIGNIEN (R), 1968.

- Les sols ferrugineux tropicaux. Unités pédogénétiques.
O.R.S.T.O.M. YAOUNDE, 34 p. multigr.

28 MILLOT (G), FAUCK (R), 1971.

- Sur l'origine de la silice des silicifications climatiques et des diatomites quaternaires du SAHARA.
C.R. Acad. Sci. PARIS, t. 272, p 4 - 7.

29 NALOVIC (L.J), 1968.

- Les méthodes d'analyse des sols et des eaux utilisées au Laboratoire du Centre O.R.S.T.O.M. d'ADIPODOUME.
O.R.S.T.O.M. ABIDJAN, 123 p. multigr.

30 PEDRO(G), CHAUVEL (A), 1973.

- Sur la nature et l'importance relative des principaux mécanismes intervenant dans le processus de lessivage pédologique.
C.R. Acad. Sci. PARIS t 277. Série D., pp 1133 - 1136.

31 POULAIN (J.F), ARRIVETS (J), 1971.

- Effets des principaux éléments fertilisants autres que l'azote sur les rendements des cultures vivrières de base (sorgho, mil, maïs) au SENEGAL et en HAUTE-VOLTA.
Séminaire CSTR/DUA. DAKAR 7/71. Rapport I.R.A.T./H.V., 31 p. multigr.

32 ROOSE (E.J), 1967.

- Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au SENEGAL.
Agron. Trop. 22 - 2, p 123 - 152.

33 ROOSE (E.J), 1968.

- Un dispositif de mesure du lessivage oblique dans les sols en place.
Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Pédol. 6, 2, p. 235 - 249.

34 ROOSE (E.J), 1968.

- Erosion en nappe et lessivage oblique dans quelques sols ferrallitiques de COTE d'IVOIRE Comm. 6 e W.A.S.A. ABIDJAN 15 p.

35 ROOSE (E.J), Henry de TUREAUX (P), 1970.

- Deux méthodes de mesure du drainage vertical dans les sols en place.
Agron. Trop. 25, 12, pp 1029 - 1087.

36 ROOSE (E.J), BIROT (Y), 1970.

- Mesure de l'érosion et du lessivage oblique et vertical sous une savane arborée du plateau MOSSI.

I GONSE, campagne 1968 - 69.

Rapport O.R.S.T.O.M ABIDJAN / C.T.F.T. OUAGA, 148 p. multigr.

37 ROOSE (E.J), et COLL, 1970.

- Erosion, ruissellement et lessivage oblique sous une plantation d'hévéa en basse COTE d'IVOIRE.

III ANGUÉDEDOU, campagne 1967 - 68 et 69.

Rapport O.R.S.T.O.M. / I.R.C.A. ABIDJAN, 115 p.

38 ROOSE (E.J), 1970.

- Importance relative de l'érosion, du drainage oblique et vertical dans la pédogenèse actuelle d'un sol ferrallitique de moyenne COTE d'IVOIRE. DIVO campagne 1968 - 69. Cah. O.R.S.T.O.M Sér. Pédol. 8,4, p. 469 - 482.

39 ROOSE (E.J), 1971.

- Projet de lutte contre l'érosion hydrique sur le plateau MOSSI (HAUTE VOLTA).

O.R.S.T.O.M. ABIDJAN 22 p multigr.

40 ROOSE (E.J), 1972.

- Contribution à l'étude de l'appauvrissement de quelques sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux situés entre ABIDJAN et OUAGADOUGOU par l'utilisation de méthodes expérimentales de terrain.

O.R.S.T.O.M. PARIS BULL. Liaison Pédologues thème A n° 1 p. 19 à 41.

41 ROOSE (E.J), 1973.

- Dix -sept années de mesures expérimentales de l'érosion hydrique et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse COTE d'IVOIRE. Thèse doct. ing. Fac. Sci. ABIDJAN 1973 n° 20. O.R.S.T.O.M. ABIDJAN, 123 p. multigr.

42 ROOSE (E.J), 1972.

- Comparaison des causes de l'érosion et des principes de lutte antiérosive en région tropicale humide tropicale sèche et méditerranéenne.

Comm. XIII journées G.R. FLORENCE p. 417 - 441.

43 ROOSE (E.J), 1974.

- Contribution à l'étude de l'influence de la sécheresse sur l'évolution actuelle de certains sols ferrugineux tropicaux en zones sahélienne.
O.R.S.T.O.M. ABIDJAN, 18 p. multigr.

44 ROOSE (E.J), 1974.

- Conséquences hydrologiques des aménagements antiérosifs.
XIII journées Hydrauliques PARIS sept. 1974.
Question 3 rapport 10 6 p.

45 ROOSE (E.J), ARRIVETS (J), POULAIN (J.F), 1974.

- Etude du ruissellement, du drainage et de l'érosion sur deux sols ferrugineux tropicaux de la région Centre HAUTE-VOLTA.
Bilan de 3 années d'observation à la station de SARIA.
O.R.S.T.O.M. ABIDJAN, 73 p. multigr.

46 ROOSE (E.J), 1975.

- Erosion et ruissellement. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales.
O.R.S.T.O.M. ABIDJAN, 72 p. multigr.

47 ROOSE (E.J), 1975.

- Application de l'équation de prévision de l'érosion de WISCHMEIER et SMITH en AFRIQUE de l'Ouest.
COLL. Conservation et aménagement du sol dans les tropiques humides :
IBADAM.
O.R.S.T.O.M. ABIDJAN, 22 p. multigr.

48 ROOSE (E.J), 1976.

- Contribution à l'étude de l'influence de la mésofaune sur la pédogenèse actuelle en milieu tropical.
Rapport O.R.S.T.O.M. ABIDJAN, 56 p. multigr.

49 ROOSE (E.J), 1976.

- Conservation des eaux et du sol en vue de l'intensification de l'exploitation de l'espace agricole tropical.
in COLL. Sénégal "L'eau et les activités agricoles" PARIS, mars 1976,
Comm. n° 322, 7 p.

- 50 ROOSE (E.J), 1977.
- Adaptation des méthodes de conservation des sols aux conditions écologiques et socio-économiques de l'AFRIQUE de l'Ouest.
Agron. Trop. 32,2 p. 132 - 140.
- 51 ROOSE (E.J), GODEFROY (J), 1977.
- Pédogenèse actuelle comparée d'un sol ferrallitique remanié sur schiste sous forêt et sous une bananeraie fertilisée de basse COTE d'IVOIRE :
AZAGUIE 1968 à 73.
à paraître cah. Pédol. 1977. n° 4
- 52 SEGALEN (P), 1967.
- Les facteurs de formation des sols ferrugineux tropicaux.
Rapport O.R.S.T.O.M. PARIS 13 p. multigr.
- 53 SEGALEN (P), deal SILVA (J.N), 1969.
- Le fer, le manganèse, l'aluminium et la silice facilement extractibles dans les sols tropicaux à sesquioxydes.
Cah. O.R.S.T.O.M. Sér. Pédol. 7, 3, p. 287 - 310.
- 54 SIBAND (P), 1972.
- Etude de l'évolution des sols sous culture traditionnelle en HAUTE-CASAMANCE.
Agron. Trop. 27, 5, p. 574 - 591.
- 55 WISCHMEIER (W.H), SMITH (D.D), 1958.
- Rainfall energy and its relationship to soil loss.
Trans. Amer. Geophys. Union n° 39, p. 285 - 291.
- 56 WISCHMEIER (W.H), 1962.
- Rainfall erosion potential. Geographie and location differences of distribution.
Agric eng. 43, p. 212 - 215.