

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Centre d'Adiopodoumé  
Laboratoire de Pédologie

**DYNAMIQUE ACTUELLE DE DEUX SOLS FERRUGINEUX  
TROPICAUX INDURÉS SOUS SORGHO  
ET SOUS SAVANE SOUDANO-SAHÉLIENNE**

— SARIA (Haute-Volta) : synthèse des campagnes 1971-1974 —

par

**Eric J. ROOSE**

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

• Avec la collaboration de :

**ARRIVETS (J.) et POULAIN (J.F.)**

Agropédologues, ingénieurs de Recherche à l'I.R.A.T.

• Avec la collaboration technique de :

**DUBOIS (A.), BARON (E.), CARLIER (P.), LABEYRIE (P.)**

Assistants de Recherche à l'I.R.A.T.

**KABRE (M.), KABRE (L.)**

Techniciens à l'I.R.A.T.

**DIALLO (H.), KOUAME (M.), SAGOU (J.)**

Techniciens à l'O.R.S.T.O.M.

O.R.S.T.O.M.  
PARIS  
1979

**DYNAMIQUE ACTUELLE DE DEUX SOLS FERRUGINEUX  
TROPICAUX INDURÉS SOUS SORGHO  
ET SOUS SAVANE SOUDANO-SAHÉLIENNE  
— SARIA (HAUTE-VOLTA) : synthèse des campagnes 1971-1974 —**

par

**Eric J. ROOSE**

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

• Avec la collaboration de :

**ARRIVETS (J.) et POULAIN (J.F.)**

Agropédologues, ingénieurs de Recherche à l'I.R.A.T.

• Avec la collaboration technique de :

**DUBOIS (A.), BARON (E.), CARLIER (P.), LABEYRIE (P.)**

Assistants de Recherche à l'I.R.A.T.

**KABRE (M.), KABRE (L.)**

Techniciens à l'I.R.A.T.

**DIALLO (H.), KOUAME (M.), SAGOU (J.)**

Techniciens à l'O.R.S.T.O.M.

## PLAN

- Résumé - Summary.....	2,3
- Introduction .....	4
- Chap. 1 Le milieu .....	7
- Chap. 2 Le dispositif expérimental .....	17
- Chap. 3 Les résultats concernant l'érosion.....	21
3.1 Les précipitations .....	21
3.2 Le ruissellement.....	26
3.3 L'érosion.....	30
3.4 Conclusions sur les phénomènes d'érosion.....	34
- Chap. 4 Essais de bilan hydrique.....	35
4.1 Les données d'observation.....	35
411 Les précipitations.....	35
412 Le ruissellement.....	35
413 Le drainage vertical mesuré en lysimètres.....	36
414 Le drainage oblique.....	37
415 Le niveau de la nappe.....	39
416 L'évapotranspiration.....	41
417 La réserve hydrique du sol.....	42
4.2 Schémas de bilans hydriques annuels calculés et discussion	43
4.3 Conclusions pratiques.....	46
- Chap. 5 Essais de bilan géochimique.....	49
5.1 Les éléments du bilan.....	49
511 Les apports par les engrais.....	49
512 Les apports par la pluie.....	49
513 Composition des solutions.....	52
514 Lixiviation dans les eaux de drainage.....	60
515 Analyse des terres érodées.....	60
516 Les pertes par érosion.....	61
517 Immobilisation temporaire dans les végétaux.....	64
518 Stockage dans le sol.....	67
519 Les remontées par les termites.....	68
5.2 Schéma de bilan géochimique sous jachères et sorgho....	68
- Chap. 6 Transfert de matière sous forme solide.....	75
6.1 L'érosion sélective.....	76
6.2 Activité des termites.....	77
6.3 Lessivage oblique et vertical.....	79
6.4 Vitesse actuelle de l'appauvrissement en fines.....	80
- Chap. 7 Résumé et conclusions générales.....	83
 Annexes 1 Bibliographie.....	 89
2 Etude micromorphologique des profils.....	97
3 Tableaux divers .....	104

## Résumé

Les auteurs font la synthèse de nombreuses observations effectuées pendant quatre années sur les précipitations, l'érosion, le drainage, les remontées par les termites et l'immobilisation en éléments dans des jachères jeunes ou vieilles et sous culture de sorgho fertilisée de la station de SARIA.

Dans cette zone de savane soudano-sahélienne, les pluies sont plus agressives ( $R_{USA}$  moyen = 455) qu'en zone méditerranéenne ( $R = 50$  à 350) mais moins qu'en zone dense humide ( $R = 800$  à 1400). Le ruissellement atteint sur sol nu ou cultivé en sorgho des valeurs intolérables pour une zone qui souffre ainsi de sécheresse ( $KRAM = 40 \%$ ,  $KRMAX$  jusqu'à 70 %) : il dépend de la pellicule de battance et du couvert végétal. L'érosion reste modeste sur les pentes très douces (max. 35t/ha/an sur sol nu et 14 t/ha/an sous sorgho) mais elle est très sélective : non seulement elle amincit l'horizon humifère mais elle le prive de sa réserve hydrique et minérale pour ne laisser qu'un squelette sableux. Les sols ferrugineux (non gravillonnaires) sont plus sensibles à l'érosion que les sols ferrallitiques. Le pouvoir évaporant de l'air étant élevé même en saison des pluies et le ruissellement très actif, le drainage (0 à 200 mm) et la lixiviation restent réduits. Les termites *Trinervitermes* remontent 400 à 1200 kg/ha/an de terre fine, la mélangent aux résidus de digestion et brassent les horizons superficiels ; elles nourrissent l'érosion sélective et développent un horizon lixivié et appauvri. Lorsque la savane est protégée, le bilan est légèrement positif et on observe une progression rapide de la production végétale, une réduction des pertes ; le stock du sol, étant beaucoup plus important que les flux, il ne se modifie que lentement. Sous culture une modeste fertilisation minérale (100 N, 22.P, 50 K) suffit à couvrir les besoins des plantes et à réduire l'effet des carences du sol. Cependant l'exploitation systématique des pailles de sorgho et d'*Andropogon* à des fins domestiques et artisanales entraîne un déséquilibre des bases (Ca - Mg et surtout K). Le problème de l'utilisation aux champs des résidus de culture se pose avec acuité en terme de bilan minéral et organique. La présence d'horizons appauvris en fines à la surface des profils de nombreux sols ferrugineux s'explique par des phénomènes de lessivage assez lents et surtout par l'érosion sélective très active lors de la mise en culture. La mise en valeur de ces sols demande une fertilisation minérale modérée et surtout une amélioration de l'infiltration grâce à des aménagements antiérosifs légers visant l'infiltration totale des pluies, le développement du couvert végétal et des travaux culturaux améliorant les réserves hydriques du sol.

### SUMMARY

The authors bring up the synthesis of four years of experimentation about substances transfer by rainfall, erosion, drainage, termites activity, mobilisation of two fallows and a sorghum plantation at the SARIA research station. In this soudanese savannah, rainfall ( $R_{USA} = 455$ ) are more erosive than in Mediterranean area ( $R = 50$  to  $350$ ) but less intensive than in subequatorial area ( $R = 800$  à  $1400$ ). Runoff can increase till 40 % of annual rainfall and 70 % of a storm on bare or cultivated plots : it is depending on splash crust on the top of the soil and green cover. Erosion remains slight on the gentle slopes (Max = 35 t/ha/year on bare plot and 14 t/ha/year on sorghum plantation) but it is very selective towards fine particles, organic matter and nutrients. Erosion not only scours the organic upper horizon but it takes off its nutrient and water reservoir and remains only sands and gravels. Ferruginous tropical soils are more erodible than ferrallitic soils. Potential evapotranspiration rate being high all the year long (also in wet season), and runoff being very active, drainage (0 to 200 mm) and nutrients leaching remain weak. Trinervitermes bring up 400 to 1200 kg/ha/year of fine material, mixt the upper horizons and help selective erosion to develop a leached and impoverished horizon. When savannah is protected, the nutrients balance is slightly positive : their green matter productivity is growing quickly, the losses are decreasing but the soil nutrients storage being much more important than the flows, is very slowly improved. Under plantation, a sweet fertilisation (100 N, 22 P, 50 K) covers the mineral needs of sorghum and reduces the mineral deficiencies of the soil. But, the utilisation of the straw of sorghum and Andropogon for domestic and artisanal uses leads to unbalance of bases (Ca - Mg and specially K). The impoverished upper horizon of a lot of ferruginous soil may be explained by slow leaching of clay but also by selective sheet erosion very active when the soils are cultivated. The management of these soils ask for moderate mineral fertilisation but also an improvement of the infiltration rate of rainfall by low isohypse antierosive ridges (total absorption), use on the land of crops residues, and all cultural techniques improving green cover and storage of water of the soil.

## Introduction

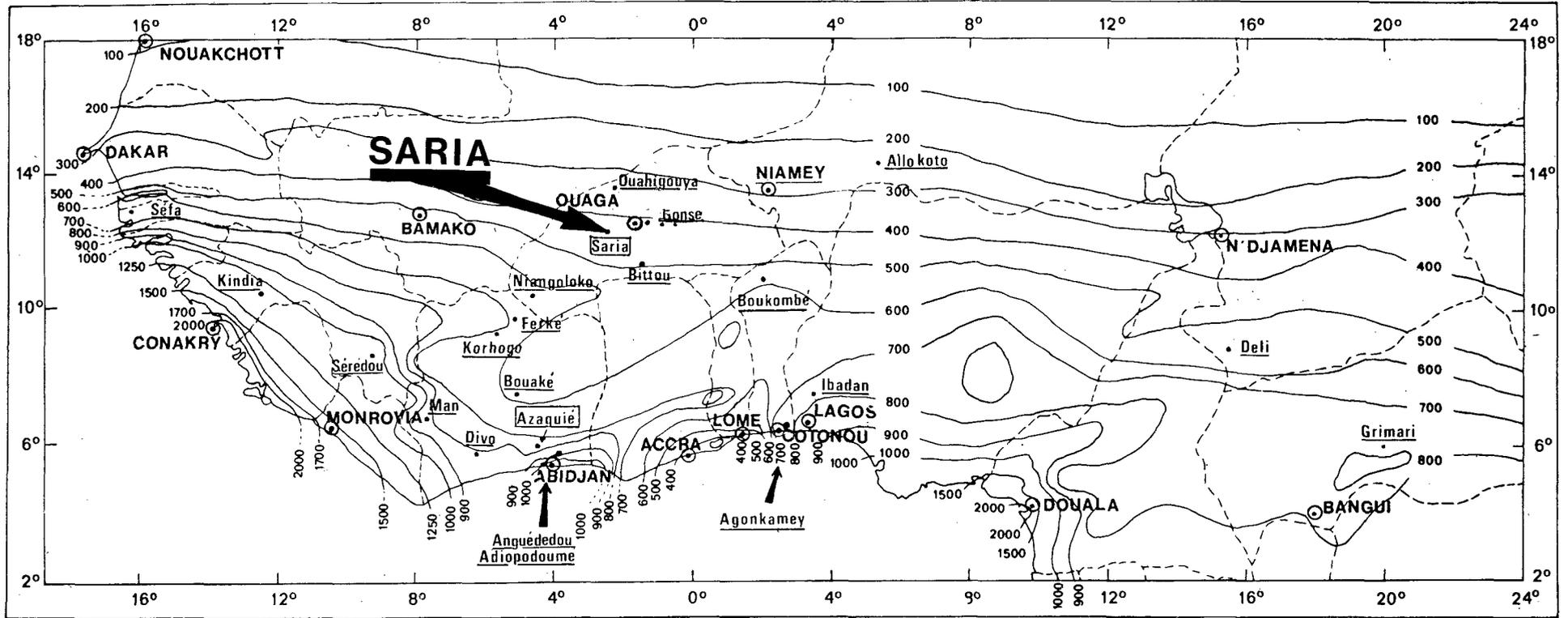
Dans le cadre du programme de recherches sur la dynamique actuelle des sols tropicaux sous végétation naturelle ou cultivée que l'O.R.S.T.O.M. a lancé en Afrique de l'Ouest, il a paru intéressant d'effectuer sur des sols ferrugineux tropicaux de la zone soudano-sahélienne de Haute - Volta des mesures de bilans telles qu'elles ont été réalisées en milieu ferrallitique plus humide de COTE d'IVOIRE.

Une première station fut installée en 1968 dans la forêt classée de GONSE, à proximité des points d'appuis du C.T.F.T. (note 1) sur un sol ferrugineux tropical lessivé à hydromorphie et cuirassement de profondeur. Le drainage étant très limité à GONSE, une seconde station fut installée en 1971 sur des sols ferrugineux moins profonds au Centre de Recherches Agronomiques de SARIA.

Un protocole d'accords passé en 1971 entre les Directeurs Généraux de l'I.R.A.T. (Note 1) et de l'O.R.S.T.O.M. (1) prévoit l'étude de l'érosion et de la lixiviation sur deux sols ferrugineux à carapace affleurante ou à peine enfouie de cette station. L'I.R.A.T. s'est chargé des manipulations de terrain ainsi que du transport des échantillons tandis que l'O.R.S.T.O.M. a mis en place les dispositifs et effectué les analyses de laboratoire ainsi que certaines mesures particulières de terrain. Les résultats concernent les remontées biologiques, les précipitations, les phénomènes d'érosion et de drainage ainsi que les transports de matières en solution et suspension observés pendant quatre années à l'échelle de petites parcelles. Les résultats ont déjà fait l'objet de trois rapports partiels (ARRIVETS, ROOSE, 1973 ; ROOSE, ARRIVETS, POULAIN, 1974 ; ROOSE, 1976). Dans cette note finale de synthèse nous présenterons succinctement les principaux résultats concernant les bilans hydriques, chimiques et colloïdaux et leur conséquence sur la dynamique actuelle de ces sols ferrugineux soumis à une exploitation intense et à une réduction de la durée des jachères.

Note 1 C.T.F.T. = Centre Technique Forestier Tropical  
I.R.A.T. = Institut de Recherches en Agronomie Tropicale  
O.R.S.T.O.M. = Office de la Recherche Scientifique et Technique  
Outre-Mer.

Fig. 1 : **ESQUISSE DE LA REPARTITION DE L'INDICE D'AGRESSIVITE CLIMATIQUE ANNUEL MOYEN ( RUSA DE WISCHMEIER ) EN AFRIQUE DE L'OUEST ET DU CENTRE**  
**SITUATION DES PARCELLES D'EROSION**



Dressée par Roose (E.J.)  
M.R.P. en Pédologie à l'ORSTOM.

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



Case Erlo de la parcelle de protection

## CHAPITRE 1 Le milieu.

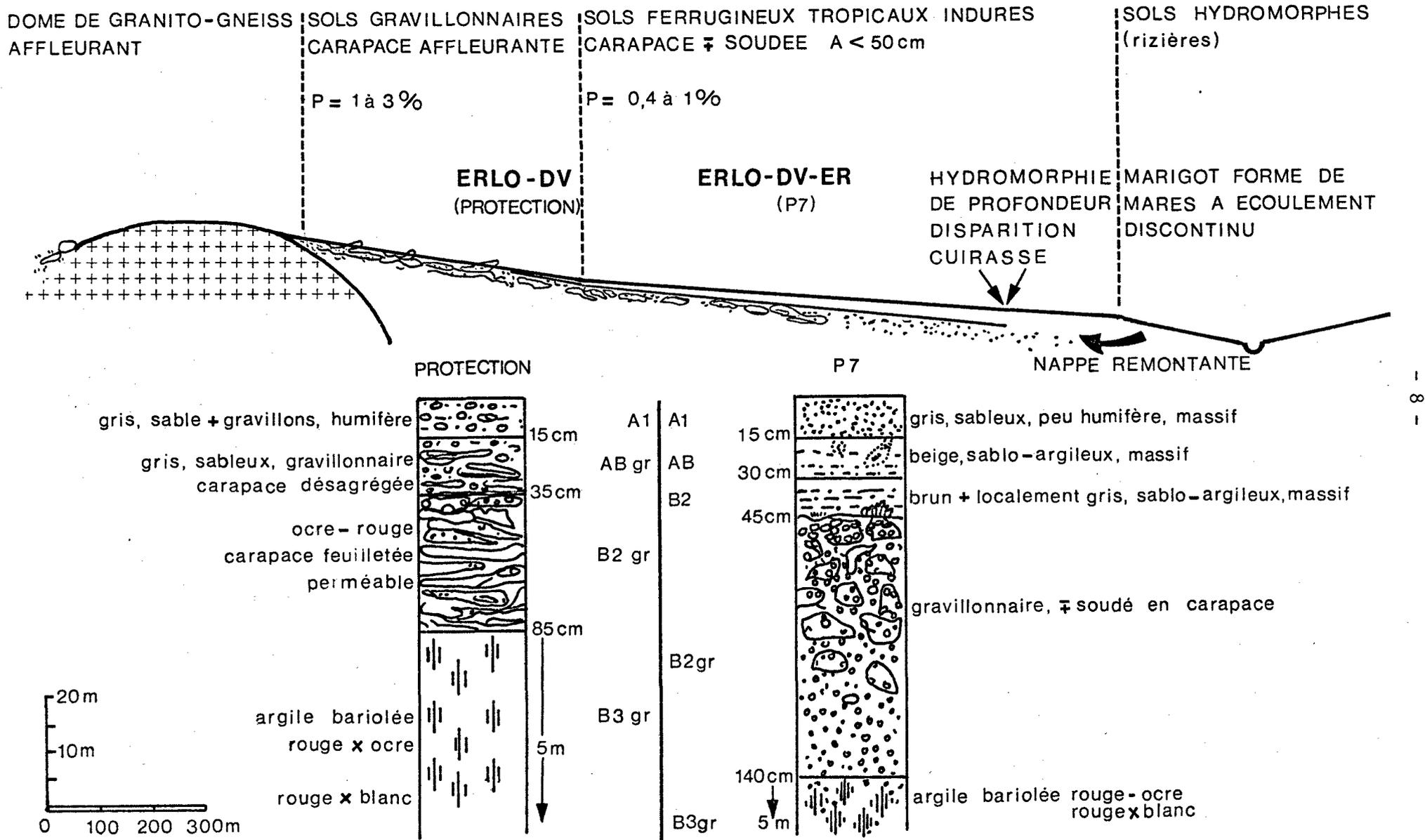
Le Centre de Recherches Agronomiques de SARIA (12°16'N ; 2°9'W ; 300m.alt) est situé à 80 kilomètres à l'Ouest de OUAGADOUGOU et à 20 kilomètres à l'Est de KOUDOUGOU sur le plateau MOSSI dans la région Centrale de la HAUTE-VOLTA.

La végétation naturelle est une savane soudano-sahélienne arborescente à Butyrospermun Parkii, Parkia biglobosa, Combretum et épineux divers ; le tapis herbacé est formé de touffes d'Andropogon gayanus, de Pennisetum et diverses annuelles. Cependant, la pression démographique est si élevée dans cette région que l'ensemble de la flore se trouve modifiée par sélection des espèces arborescentes utiles (karités, manguiers, nérés) et dégradation du tapis graminéen (rubiacées, papillonacées, cypéracées et graminées basses).

Le climat est du type Soudanien c'est-à-dire tropical sec à une seule saison des pluies. Les précipitations annuelles varient beaucoup ( $P = 574$  à  $1092$  mm) autour d'une moyenne de  $826$  mm (1946-70) : elles sont réparties en quatre mois humides (juin à septembre :  $120$  à  $250$  mm), deux mois intermédiaires et six mois pratiquement secs. La température annuelle moyenne est de  $28^{\circ}$  C ; les températures mensuelles s'élèvent de  $30^{\circ}$  C durant la saison humide à  $35^{\circ}$  C dès le mois d'octobre. L'humidité relative descend à moins de  $20\%$  en saison sèche et dépasse  $60$  à  $80\%$  en saison des pluies. L'évapotranspiration potentielle ( $ETP_{Turc}$ ) est de l'ordre de  $2000$  millimètres ; elle peut dépasser  $7$  mm/jour en saison sèche et atteint encore trois à quatre mm/jour en août. Le pouvoir évaporant de l'air reste donc très élevé même au coeur de la saison des pluies contrairement à ce qu'on observe en zone tropicale humide.

La toposéquence de SARIA (schématisée à la fig.2) est typique du paysage granitique qui occupe la majeure partie du plateau MOSSI : il est caractérisé par des pentes très faibles ( $0,5$  à  $2\%$ ) et un mauvais drainage externe. Un dôme granitique surbaissé domine un long glacis gravillonnaire localement cuirassé (pente  $1$  à  $2\%$ ) qui s'enfonce graduellement sous un manteau de matériaux sableux en surface puis argilo-sableux en profondeur (pente  $< 1\%$ ) avant de disparaître dès que naissent des conditions d'hydromorphie de profondeur. Le lit du marigot (écoulement temporaire) est formé d'une succession de mares sommairement aménagées pour la riziculture de nappe (ARRIVETS, 1973) et pour le jardinage : il est entouré d'une étroite bande de sols ocres (pente  $2-3\%$ ).

Fig. 2 - Schéma de la toposéquence de SARIA (C.R.A. près de Koudougou - Haute Volta)



Actuellement, se manifeste tout au long du glâcis une érosion en nappe assez discrète (déterrage des touffes d'herbe, glaçage de la surface du sol entre les touffes, épandage de sable) et localement quelques ravines peu profondes dans les zones de passage du bétail.

La surface du sol est formée de nombreuses petites termitières grises (Trinervitermes), de grosses touffes d'herbes et de plages de sol nu couvert d'une pellicule de battance finement litée et colmatée.

Le sol sur la parcelle "P7" est un sol ferrugineux tropical sur carapace à 50 centimètres que l'on peut schématiser comme suit \* note 1

de 0 à 15 cm : horizon labouré gris beige, peu humifère, sableux (70 %), boueux à l'état humide et massif à l'état sec, structure fondue et pellicule de battance en surface. Nombreuses racines, porosité tubulaire et vésiculaire, transition nette sur 1 cm.

de 15 à 30 cm : horizon beige avec tâches de pénétration humifère, sablo-argileux, plus cohérent : structure massive à débit polyédrique moyen faiblement développé. Racines fines et activité biologique abondante. Porosité mieux développée (tubulaire, localement vésiculaire et interstitielle). Traces de cutanes argilo-humifères (Annexe 2)..Transition sur 3 cm.

de 30 à 45 cm : horizon brun-jaune, localement grisâtre au contact avec l'horizon gravillonnaire, sablo-argileux : structure massive à débit polyédrique moyen mieux développé. Racines peu nombreuses ; porosité tubulaire abondante et cavités de 2 à 4 cm nombreuses (hyules, termites, etc...). (Nombreux cutanes argileux jaunes. Transition sur 1 cm.

de 45 à 140 cm : horizon gravillonnaire gris sur 5 à 15 cm puis ocre rouge et soudé en carapace compacte très dure à pénétrer. Gravillons arrondis de 3 à 10 mm de diamètre mélangés à quelques pseudo-concretions (30 mm) : à la cassure cortex de couleur générale lie de vin avec des grains de quartz et des grains noirs. Quelques tubulures enrobées de fer, remplies d'argile grisâtre et quelquefois colonisées par de fines racines. Transition progressive sur 30 cm. Au microscope, cutanes ferro-argileuses rouges abondants.

Note 1 Description détaillée des profils dans l'annexe 1-2-1 de ARRIVETS, ROOSE, CARLIER : 1973. Description des lames minces en annexe 2.

de 140 à 500 cm et plus : horizon d'argile bariolée rouge, ocre et blanche vers le haut mais de plus en plus grise à partir de 250 cm. Structure massive à débit polyédrique grossier. Porosité macrotubulaire avec enrobement argileux blanchâtre très développé. Matériau humide toute l'année, friable, riche en tubules blanchâtres où se logent quelques radicelles observées jusqu'au fond du puits. Au microscope, cutanes rouges et jaunes au sommet et uniquement jaunes à partir de 3 mètres.

Les résultats analytiques (tableau 1a) montrent que ce sol est très pauvre chimiquement. Les teneurs en matières organiques sont très faibles dès la surface (C = 0,3 à 0,4 % ; N = 0,03 %) ; elles sont bien évoluées mais le taux de carbone humifié ne dépasse pas 22 % (15 % en profondeur) et les acides fulviques dominent largement les acides humiques dès la surface (AF/AH = 2,7 à 6). Le taux de phosphore total ( $P_2O_5 = 0,2 - 0,4 \%$ ) est médiocre et le phosphore assimilable (Olsen) est pratiquement absent. La capacité d'échange de cations augmente de 1,8 mé/100 gr de terre fine en surface à 3 - 4 mé en profondeur en rapport avec le taux d'argile. Le taux de saturation en bases diminue de 72 % à 35 - 50 % en profondeur parallèlement au pH (5,3 à 4,9 en profondeur) qui semble assez acide pour la région. Parmi les cations échangeables, calcium (0,8 à 1,5 mé) et magnésium (0,3 à 0,7 mé) sont les mieux représentés : le potassium échangeable est peu abondant surtout dans la zone la plus exploitée (0,1 à 0,3 mé). Les réserves minérales sont très faibles en calcium (1 à 2 mé), moyennes en potassium (2 à 5 mé) et importantes en magnésium (14 à 21 mé). L'attaque au réactif triacide de la terre fine montre que les résidus quartzeux diminuent de 80 % dans l'horizon gris appauvri à 55 - 60 % dans les horizons beige et brun puis 25 - 35 % dans la carapace et l'argile bariolée. Silice et alumine combinés évoluent en sens inverse mais leur rapport moléculaire  $\frac{SiO_2}{Al_2O_3} = 1,83 \text{ à } 1,90$  est quasi constant : ceci indique que l'argile est du type kaolinitique quasi exclusivement jusque vers 4,5 mètres de profondeur où la nappe phréatique est presque permanente. Le titane est très constant ( $TiO_2 = 1 \%$ ) de manganèse ( $MnO_2 = 0,1 \text{ à } 0,3 \%$ ) est présent à l'état de traces. Le fer total augmente de 3 % en surface à 12 % dans la terre fine de la carapace puis diminue progressivement jusqu'à 10 % dans l'argile bariolée et 1,7 % dans un échantillon peu altéré de granite. Le taux de fer libre / fer total augmente de 50 - 55 % en surface à 78 % dans la cuirasse et jusqu'à 87 % dans l'argile bariolée.



Les propriétés physiques sont défavorables au développement des végétaux : l'indice d'instabilité structurale est très élevé ( $I_s = 2,3 - 1,8$ ), le sol est sensible à la battance (peu de matières organiques et beaucoup de limons grossiers + sables fins) et l'indice de perméabilité ( $K_{Henin} = 3$  à  $5$  cm/h) est faible. La vitesse d'infiltration mesurée sur le terrain est réduite et dépend essentiellement de la présence de la pellicule de battance ; en sa présence, l'infiltration (Müntz à 2 anneaux) ne dépasse guère  $10 - 20$  mm/h. Un seul trou de termites et l'infiltration atteint  $60$  mm/h. Si on enlève la pellicule sans remuer le sol, l'infiltration atteint  $90 - 120$  mm/h. Enfin si on pioche le sol sur  $5$  cm, l'infiltration dépasse  $120$  à  $200$  mm/h. La vitesse de filtration (méthode des cubes de VERGIERES) des horizons gris, beiges et bruns est beaucoup plus faible que celle des horizons correspondants des sols ferrallitiques de basse COTE d'IVOIRE, mais c'est généralement la pellicule de battance qui limite sévèrement l'infiltration des eaux de pluie. La densité apparente est très élevée ( $d_a = 1,6$  à  $2,4$ ), aussi la porosité totale est-elle faible ( $39\%$  en surface à  $30\%$  sous la cuirasse). Comme la microporosité atteint  $25\%$ , la macroporosité est très réduite : presque toutes les racines sont localisées dans les  $30$  premiers centimètres, bien qu'on trouve de petites racelles vivants jusqu'au fond du puits ( $4,5$ m).

L'analyse granulométrique met en évidence la superposition de deux matériaux :

- 1) l'épais manteau d'argile bariolée recouvert de la carapace ( $SF/SG = 0,3$  à  $0,4$ ), vestige d'une altération ferrallitique profonde et ancienne,
- 2) un mince recouvrement argilo-sableux appauvri en particules fines ( $0 - 20$  microns) en surface mais homogène par bien des aspects (micro-morphologie,  $SF/SG = 0,55$ ,  $5$  à  $10\%$  de refus constitués de gros quartz et de petits gravillons ferrugineux) et subissant une pédogenèse de type ferrugineuse caractéristique des zones soudaniennes sèches. Notons enfin que ces matériaux sont d'autant plus riches en sables fins qu'on se rapproche de la surface ( $SF = 10-12\%$  sous l'argile bariolée,  $12-15$  dans la cuirasse,  $14 - 22\%$  dans les horizons exploités par les racines). Les limons grossiers évoluent parallèlement ( $10$  à  $20\%$ ), ce qui explique, avec le faible taux de matières organiques, les mauvaises propriétés physiques de ce type de sol.

Le sol de la parcelle de "protection" est un sol ferrugineux gravillonnaire dès la surface, érodé sur cuirasse litée perméable, en voie de désagrégation. La pente est à peine moins faible (1,4 %) :

de 0 à 15 cm : horizon gris foncé, humifère, sableux et gravillonnaire (> 50 %) ; meuble, très poreux, nombreuses racines et activité biologique abondante. Gravillons grisâtres en surface mais ocres à la cassure, quelques pseudo-concrétions plus tendres. Deux à trois fentes fines par mètre couvrant jusqu'à 50 cm de profondeur en sol sec. Transition ondulée, assez nette (couleur + claire). Aucun revêtement dans les pores sauf les trous de termite (Annexe 2).

de 15 à 35 cm : horizon beige plus clair, gravillonnaire à matrice sableuse, blocs feuilletés détachés de la carapace sous-jacente, pseudo-concrétions plus nombreuses. Nombreuses racines à direction dominante horizontale ; importante activité biologique. Horizon meuble, bien drainé, forte porosité macrotubulaire ; transition brutale. (Revêtements argileux jaunes mais peu développés).

de 35 à 85 cm : horizon ocre rouille ; carapace ferrugineuse litée avec feuillets noirs (Manganèse) dure mais perméable : quelques racines dans les macroporosités obliques entourées d'un manchon ferrugineux et remplies d'argile blanchâtre. (Nombreux revêtements argileux rouges et jaunes).

de 85 à 450 cm : Transition progressive à un horizon d'argile bariolée semblable à celui de la parcelle P<sub>7</sub> : les taches grises deviennent dominantes à partir de 475 cm. de profondeur. (Nombreux revêtements rouges et jaunes jusqu'à 8 mètres.

Les résultats analytiques (tableau 1 b) montrent que ce sol gravillonnaire est aussi pauvre chimiquement que le précédent car si les teneurs en matières organiques azote, phosphore et bases des horizons superficiels sont un peu plus élevées dans la terre fine, le pourcentage de refus ( 2 mm) est 5 à 10 fois plus fort dans les horizons superficiels les plus exploités par les racines. L'épaisseur utile du sol est encore plus faible qu'en P<sub>7</sub> (35 cm) et en outre, elle contient 50 % de gravillons ferrugineux.

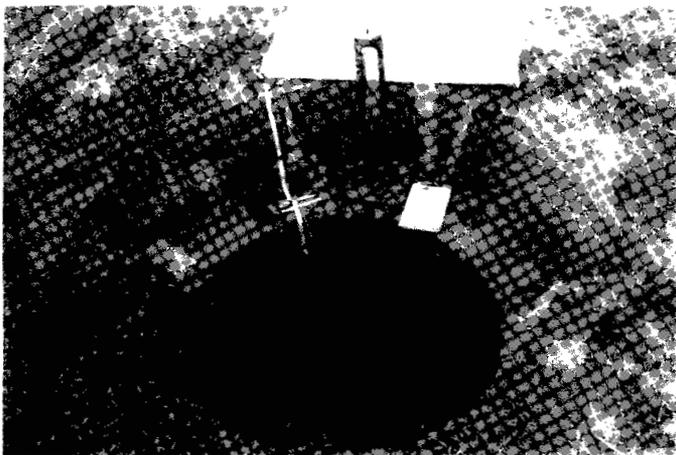
Il se caractérise donc par de faibles réserves minérales mais l'insuffisance des réserves hydriques empêche de corriger les carences minérales par des apports d'engrais dans des conditions économiques : le premier facteur limitant sur ce type de sol est donc l'eau malgré une meilleure capacité d'infiltrer les précipitations.

Ces sols ont été choisis d'une part à cause de leur étendue dans la région et d'autre part en vue de l'étude de l'influence de la profondeur de la cuirasse sur le bilan hydrique et le drainage oblique en particulier.





Ensemble du dispositif  
ou parcelle P7



Détail du dispositif de mesure des  
propriétés physiques en relation  
avec la dynamique de l'eau

## Chapitre 2 Le dispositif expérimental

Le dispositif a été décrit en détail dans les rapports précédents (ARRIVETS, ROOSE, CARLIER, 1973 ; ROOSE, 1968 ; ROOSE, des TUREAUX, 1970 ; ROOSE, 1976). Il comprend :

### En parcelle 7 :

- . un pluviomètre association et un pluviographe CERF à augets basculants et rotation journalière ;

- . Une case ERLO de 250 m<sup>2</sup> sur une pente de 0,7 % qui permet la mesure du ruissellement et de l'érosion à la surface du sol et l'estimation qualitative des écoulements obliques à cinq niveaux dans le sol (25 - 45 - 65 - 100 - 150 et 200 cm). La parcelle est recouverte d'une jeune jachère herbacée après une culture de mil ensilage en 1970 : elle a été entièrement fauchée le 25/5/74.

- . Une parcelle d'érosion de référence (100 m<sup>2</sup>) traitée en jachère nue, sans enfouissement de matière organique mais labourée chaque année et binée tous les mois pour éviter la formation de pellicules de battance ; elle doit permettre d'évaluer l'érodibilité du sol (K de WISCHMEIER) sur ces faibles pentes (0,7 %).

- . Une parcelle d'érosion (100 m<sup>2</sup>) sous culture fertilisée de sorgho (var. S29) \* Note 2

- . Quatre cases de drainage vertical (SDV 1 à 4), (63 cm de diamètre et 45 à 55 cm de profondeur) à l'intérieur d'une parcelle (100 m<sup>2</sup>) cultivée en sorgho fertilisé \* Note 2

- . Quatre cases de drainage vertical (40 - 80 - 140 et 180 cm de profondeur) recouverts d'une jachère naturelle à Andropogon (SDV 5 à 8) ;

- . Un puits protégé des pluies pour suivre le niveau de la nappe toute l'année ;

- . deux évapotranspiromètres enherbés en Cynodon dactylon ont été installés par l'I.R.A.T. pour compléter le dispositif.

### Noté 2 :

les parcelles cultivées sont labourées à 20 cm, semées en poquets à 40 cm sur des lignes espacées de 80 cm ; buttage le 20ème et le 60ème jour. Fumure N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O--S équilibrée à 97 - 50 - 60 et 12 unités à l'hectare ; au semis 100 kg/ha de phosphate d'ammoniaque + 120 kg/ha de sulfate de potasse ; au 20ème jour ; 50 kg/ha d'urée et à l'initiation florale (60ème jour) 100 kg d'urée.

En parcelle de protection

. un pluviomètre association et trois bacs (0,5 m x 2 m) recouverts de plastique pour la récolte des eaux de pluie sous herbage (PSH), sous karité (PSK) sous un néré (PSN) et à l'air libre (PSO) en vue d'une analyse qualitative du pluviolessivage ;

. une case ERLO de 250 m<sup>2</sup> et 1,4 % de pente sous une vieille jachère (+de 30 ans) protégée du feu et du bétail depuis 1971 ; les gouttières de réception du drainage oblique sont à 30 - 65 - 100 - et 200 cm de profondeur.

. quatre cases de drainage vertical sous savane herbeuse à 45 - 80 - 140 et 180 cm de profondeur (PDV 11 à 14) ;

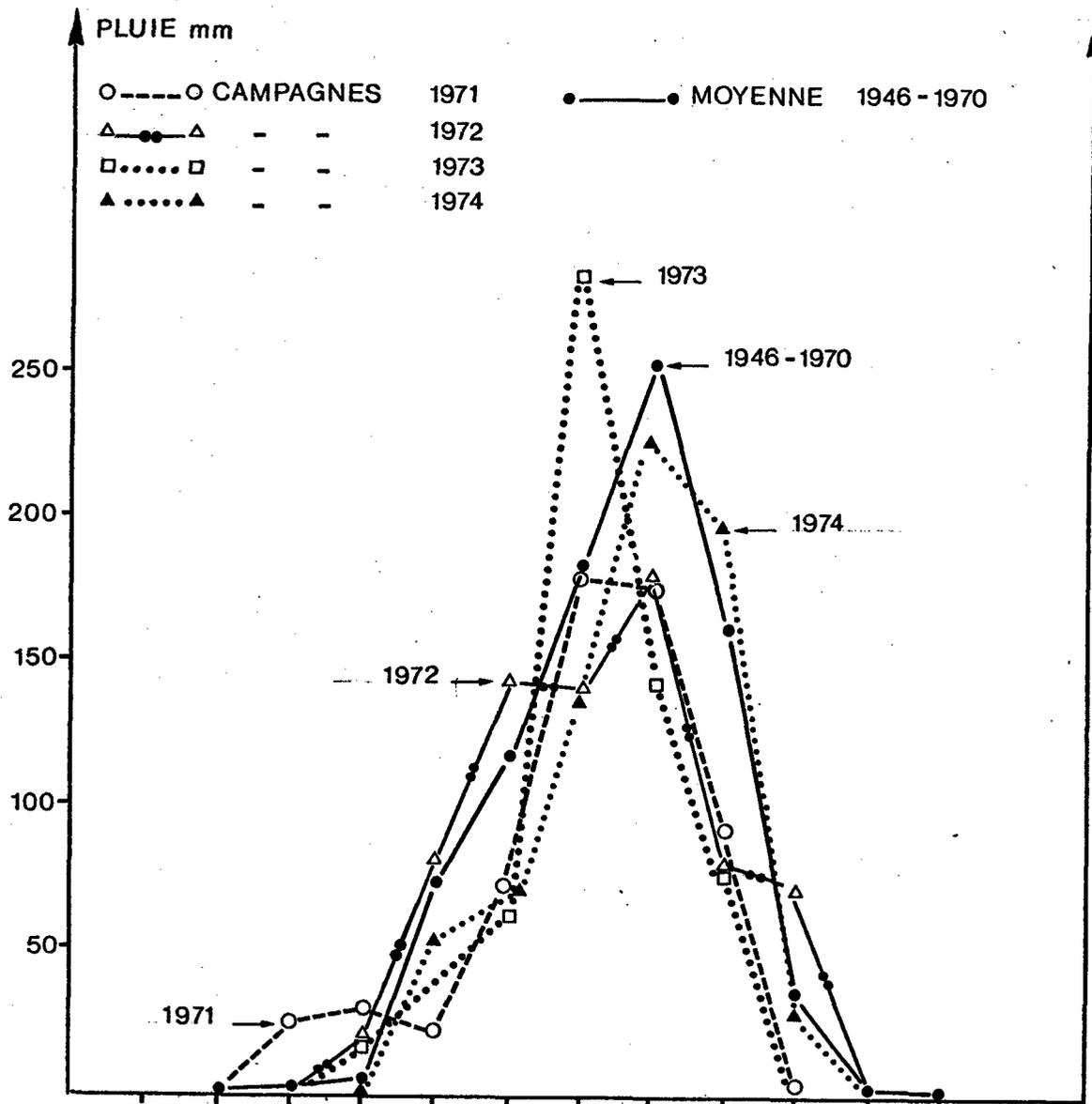
. quatre cases de drainage vertical profondes de 100 cm (PDV 15 à 18) cultivées en sorgho fertilisé et entourées d'une petite parcelle de la même culture ;

En outre on a estimé :

- la production végétale et l'immobilisation minérale par le sorgho et les jachères ;
- les remontées par les termites (Trinervitermes) marquage à la peinture au latex et mesure annuelle des hauteurs et diamètres mini + maxi des nids épigés ;
- la fixation potentielle des eaux de pluie sur le feuillage des graminées de la jachère (= interception) ;
- l'évolution de la flore par des relevés floristiques.

La station dispose également d'un parc météo classique qui fonctionne depuis 1944 pour les pluies et 1967 pour les températures, l'inso-  
lation, l'humidité relative, l'ETP turc, et Evaporation bac type A.

Fig. 3 - Précipitations mensuelles. Saria, 1971-74



	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1946-1970	0,0	0,9	2,9	28,4	37,1	118,3	184,2	250,7	162,4	36,7	3,3	1	826,0
1971	0	0	28,2	30,6	23,7	73,1	183,6	179,1	94,2	4,1	0	0	616,6
1972	0	0	0	20,8	83,6	144,6	141,1	178,7	82,2	73,3	0	0	724,3
1973	0	0	0	18,3	86,3	63,6	283,5	142,7	78,0	0	0	0	672,4
1974	0	0	0,8	0,5	54,2	69,9	136,3	226,9	197,6	27,8	0	0	714,0



### CHAPITRE 3 LES RESULTATS CONCERNANT L'EROSION

Nous examinerons dans ce chapitre les observations effectuées sur les précipitations, le ruissellement et les déplacements de terre à la surface du sol. (Note 3)

#### 3.1 Les précipitations

31.1 La hauteur des pluies journalières, décadaires et mensuelles ont été publiés antérieurement ; les observations de 1974 sont reportées en annexe. Nous examinerons d'abord rapidement le déroulement des 4 campagnes de façon à les situer par rapport aux précipitations d'une année "normale" (fig.3) puis nous aborderons l'intensité des pluies et l'indice d'agressivité climatique.

En moyenne sur 25 ans (1946-70), il a plu à SARIA 826 mm dont 118 mm en juin, 184 mm en juillet, 251 en août et 162 mm en septembre. Quelques orages peuvent survenir en avril et mai ; cependant le sol n'est vraiment humide que de fin juillet à fin septembre et c'est durant cette période qu'ont généralement lieu les pluies les plus intenses et les plus importantes. En effet, on a observé en moyenne sur 25 ans, 1,8 pluies de 40 mm et une pluie de plus de 50 mm chaque année, une pluie de 60 mm tous les deux ans et une pluie de plus de 70 mm tous les 3 ans. Ces observations sont donc légèrement inférieures à celles de BRUNET-MORET (1963) pour le poste de OUAGADOUGOU (ville).

Poste	Nombre années	Pluie annuelle	Précipitations (h en mm) de retour						
			1 an	2 ans	5 ans	10	20	50	100 ans
OUAGADOUGOU V	32	868	62	74	92	107	123	147	166

#### Note 3

Le détail des observations de 1971 - 2 - 3 a été publié dans le rapport ROOSE, ARRIVETS, POULAIN ; quant à celles de 1974, elles seront jointes à cette note sous forme d'annexe n° 3 et constitueront le rapport de 1974.

La campagne 1971 (P = 617 mm) a été déficitaire de plus de 21 % par rapport à la moyenne ; le déficit, marqué en juin, août et septembre eut des conséquences graves sur les récoltes et les phénomènes mesurés. Cependant deux séquences furent agressives :

- le 8 juillet, 24,4 m suivis de 53 mm le 10/7 tombant sur sol nu et sec,

- le 13 août, 48mm suivis de 30 m le 17/8 sur sol humide peu couvert.

La campagne 1972 (P = 724 mm) est déficitaire d'une centaine de millimètres mais les pluies furent bien réparties et très peu agressives si bien que les récoltes furent normales. Par contre, le déficit notable des précipitations en août a diminué le volume du drainage.

La campagne 1973 (P = 672 mm) a été très déficitaire (150 mm) malgré un mois de juillet excédentaire. La dernière quinzaine de juillet fut exceptionnellement agressive :

16/7/73	il est tombé	33,5 mm	avec un indice d'érosivité ( $R_{USA}$ voir + loin)	de 23,7
22/7/73	il est tombé	30,2 mm	" " " "	de 30,0
24/7/73	"	97,0 mm	" " " "	de 171,2
28/7/73	"	31,7 mm	" " " "	de 23,0

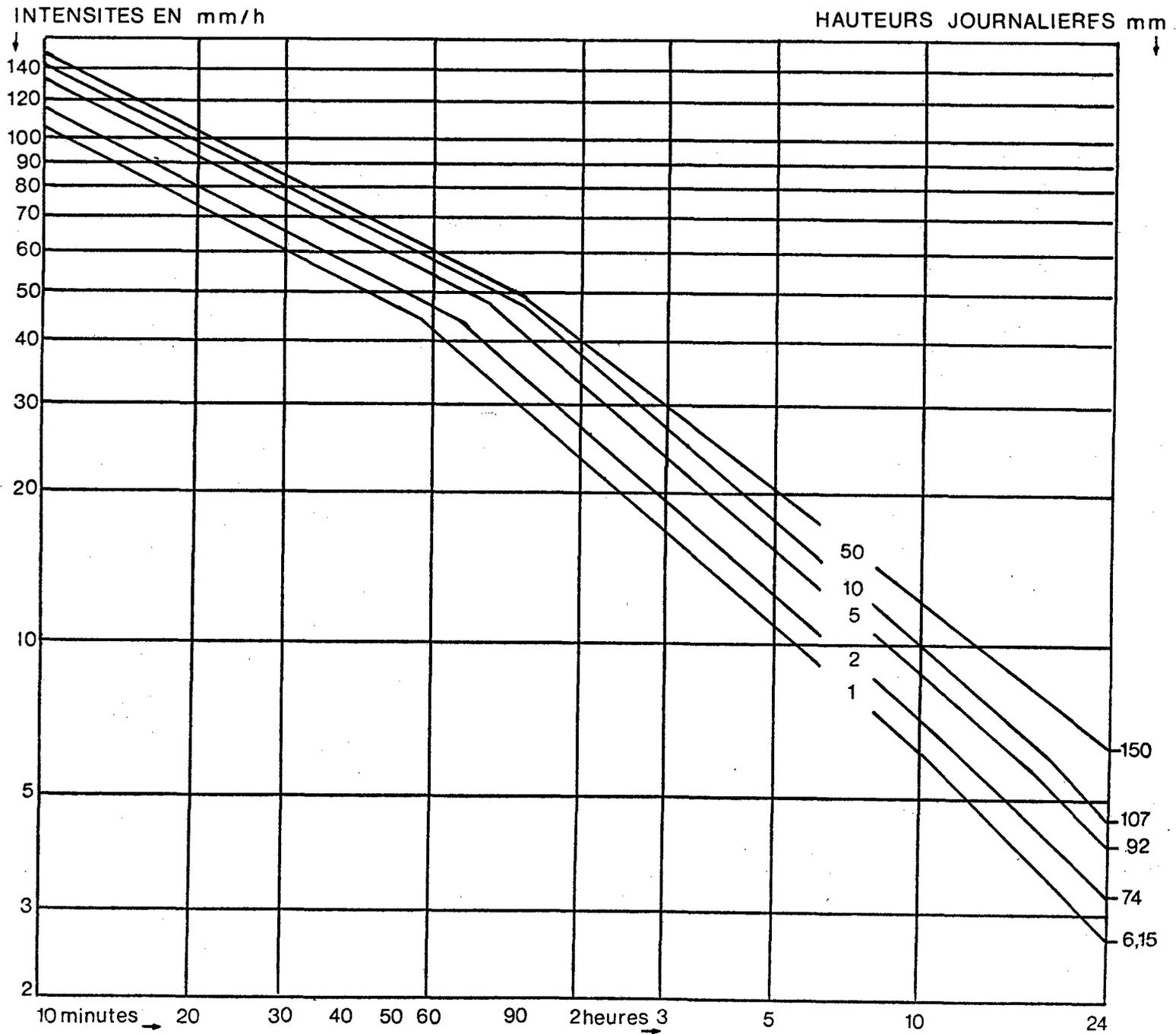
Cet épisode très pluvieux eut une influence capitale sur l'érosion, le drainage, le niveau de la nappe et sur le reste de la campagne. Il fait bien ressortir l'importance des averses rares et des séries d'averses (plutôt que des précipitations annuelles) sur les bilans d'eau et de matières.

La campagne 1974 (P = 714 mm) fut encore déficitaire d'une centaine de mm ,mais la répartition favorable des pluies permit une récolte normale.

A noter : (la pluie du 1/8 (42,8 mm) qui succède à celle du 26/7 (53,8mm)  
les trois décades agressives tombant sur sol couvert mais humide début août (89 mm), mi-août (99 mm) et surtout mi-septembre (4 pluies de 30 mm en 6 jours).

En résumé, nos observations portent sur quatre années dont les précipitations furent nettement inférieures à la moyenne mais non dépourvues de pluies et surtout de séquences pluvieuses agressives.

Fig. 4 - Courbes intensités-durées pour la région de Ouagadougou (BRUNET-MORET, 1963)



31.2 Les relations intensités x durées observées au pluviographe de la parcelle P<sub>7</sub> montrent que les intensités des averses tombées de 1971 à 74 à SARIA sont un peu plus élevées que celles qui sont proposées par BRUNET-MORET (1963) pour le poste OUAGADOUGOU ville. (voir tabl. 2 et fig. 4).

On constatera en outre au tableau 2 que, contrairement à l'opinion largement répandue, les averses de fortes intensités en zone soudano-sahélienne sont plus rares qu'en zone tropicale humide : si l'érosion et surtout le ruissellement sont élevées en zone sahélienne cela ne résulte pas de pluies particulièrement agressives mais du sol moins perméable et du couvert végétal moins développé qu'en zone tropicale humide.

Tableau 2 Relation intensité x durée pour les pluies de plus de 10 mm enregistrées au poste SARIA P<sub>7</sub>.

	hauteur pluie mm	Intensité Max. (mm/h) durant ..... minutes					
		5'	10'	20'	30'	60'	180'
SARIA 1971	617	80 à 100 (190)	60 à 130 (160)	40 à 60 (90)	40 à 80	20 à 45	8 à 16 (25)
SARIA 1972	724	80 à 130	60 à 100	45 à 75	35 à 60	16 à 34	6 à 13
SARIA 1973	672	120 à 140 (200)	70 à 120 (170)	50 à 80 (125)	35 à 60 (100)	20 à 30 (75)	7 à 15 (35)
SARIA 1974	714	130 à 170 (190)	60 à 130 (170)	70 à 90 (120)	40 à 80 (96)	22 à 45 (52)	8 à 18
OUAGA V. *							
fréq. (annuelle)	62	-	100	75	60	42	17
(décennale)	107		140	100	80	58	28
ABIDJAN aéro *							
fréq. (annuelle)	133	-	126	-	92	66	30
(décennale)	230		204	-	130	102	42

\* Notes : BRUNET-MORET (1963) Intensité maximale observée une seule fois.

Du tableau 2 on peut retenir qu'à SARIA l'intensité maximale durant l'averse de fréquence annuelle atteint 100 - 120 mm/heures pendant dix minutes, 80 mm/h pendant trente minutes, 45 mm/h pendant une heure et 20 à 25 mm/h pendant trois heures : les averses sont donc plus brèves qu'à ABIDJAN mais presque aussi violentes.

31.3 L'indice d'agressivité climatique a été défini par WISCHMEIER (1959) comme la somme des produits de l'énergie cinétique des pluies unitaires par leur intensité maximale durant trente minutes ( $R = E \cdot I_{30}$ ).

A SARIA, il a été calculé à partir du dépouillement d'une centaine d'enregistrements pluviographiques de plus de 10 mm (poste SARIA P<sub>7</sub>) obtenus durant les campagnes 1971 à 74, selon la méthode préconisée par le C.T.F.T. (1966).

Il a varié de  $R_{USA} = 295$  à 512 autour d'une moyenne de 391 pour des précipitations moyennes de 682 mm. Parallèlement à d'autres auteurs (CHARREAU, GALABERT et MILLOGO, PIOT, DELWAULLE) nous avons cherché à simplifier cette méthode fastidieuse et à tirer parti, en plus des rares postes équipés d'un pluviographe utilisable, des longues séries d'observation des pluies journalières disponibles en HAUTE VOLTA (19 postes de plus de 40 ans et au total 36 postes de plus de 20 ans. Nous avons alors noté qu'il existe une relation linéaire statistique très significative entre le logarithme de l'indice d'érosivité et le logarithme de la hauteur d'une averse journalière et que cette droite est très voisine de celles qu'on peut obtenir à GONSE, NIANGOLOKO et d'autres postes situés en COTE d'IVOIRE. Nous disposons donc d'un moyen pour évaluer la répartition temporelle et spatiale de cet indice d'agressivité. En transformant de la sorte les relevés pluviométriques journaliers de SARIA de 1944 à 1974, nous avons pu estimer les moyennes annuelles et mensuelles de cet indice :

$R_{USA}$  varie de 150 à 750 autour de 455 pour des précipitations annuelles moyennes de 826 mm. Ailleurs dans le monde, cet indice varie de :

- 50 à 650 aux U.S.A. (WISCHMEIER, 1959)
- 10 à 60 en BELGIQUE et PAYS BAS (BOLLINE, 1978 ; BERGSMAN, 1978)
- 50 à 300 en TUNISIE et au MAROC (MASSON 1971, KALMAN 1967)
- 60 à 240 au midi de la FRANCE (MASSON, KALMS, 1971)
- 200 à 600 en HAUTE VOLTA (ROOSE, ARRIVETS, POULAIN, 1974)
- 500 à 1400 en COTE d'IVOIRE (ROOSE, 1973).

Tout en étant supérieure à celui qu'on trouve en zone tempérée et même en zone méditerranéenne (au climat réputé agressif), l'indice d'érosivité moyen estimé à SARIA ( $R_{USA} = 455$ ) est nettement moins élevé qu'en zone tropicale humide où la hauteur des précipitations est plus élevée mais pas forcément leur agressivité par millimètre de pluie.

(Ram/ham = 0,55)

Tableau 3 Répartition mensuelle de l'indice d'érosivité à SARIA.

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
1971	0	0	14,0	13,6	3,3	16,9	154,8	69,8	29,4	0	0	0	302
1972	0	0	0	1,4	34,8	82,9	69,7	60,8	18,3	26,2	0	0	295
1973	0	0	0	7,9	43,0	19,1	295,1	50,9	37,1	0	0	0	458
1974	0	0	0	0	65,0	33,0	126,8	190,5	88,7	8,2	0	0	512
Moyenne 1944-74	0	0	1	12	32	56	113	152	76	13	0	0	455

Le tableau 3 montre que 44 % de l'agressivité des pluies a lieu de mai à juillet lorsque le sol est pratiquement nu ; 53 % adviennent durant le reste de la saison agricole alors que la végétation couvre plus ou moins le sol. Encore faut-il signaler l'importance des pluies exceptionnelles comme celles du 24/7/1973 où il a plu 97 millimètres et où l'indice d'érosivité atteint 171 unités soit 38 % du R annuel 1973.

Par la suite, nous avons constaté en une vingtaine de points répartis du SENEGAL au TCHAD et du NIGER à la COTE d'IVOIRE, qu'il existe une relation simple  $Ram/Ham = 0,50 \pm$  (\* note 4) entre l'indice d'érosivité moyen annuel sur 5 à 10 ans (Ram) et la hauteur des précipitations annuelles moyennes (Ham) durant la même période ; nous avons dessiné le schéma de répartition de cet indice annuel moyen en COTE d'IVOIRE (1973), en HAUTE -VOLTA (1974) puis dans toute l'AFRIQUE de l'Ouest (ROOSE, 1975). Il en découle que l'érosivité climatique est très élevée en milieu Sub équatorial (ABIDJAN  $R_{USA} = 1260$ ) et décroît presque parallèlement aux isohyètes (OUAGA  $R_{USA} = 430$ ) : cela s'explique par les liaisons existant entre les courbes intensités x durées, la hauteur de l'averse décennale et les précipitations annuelles moyennes en AFRIQUE de l'Ouest (BRUNET-MORET, 1963).

### 3.2. Le ruissellement.

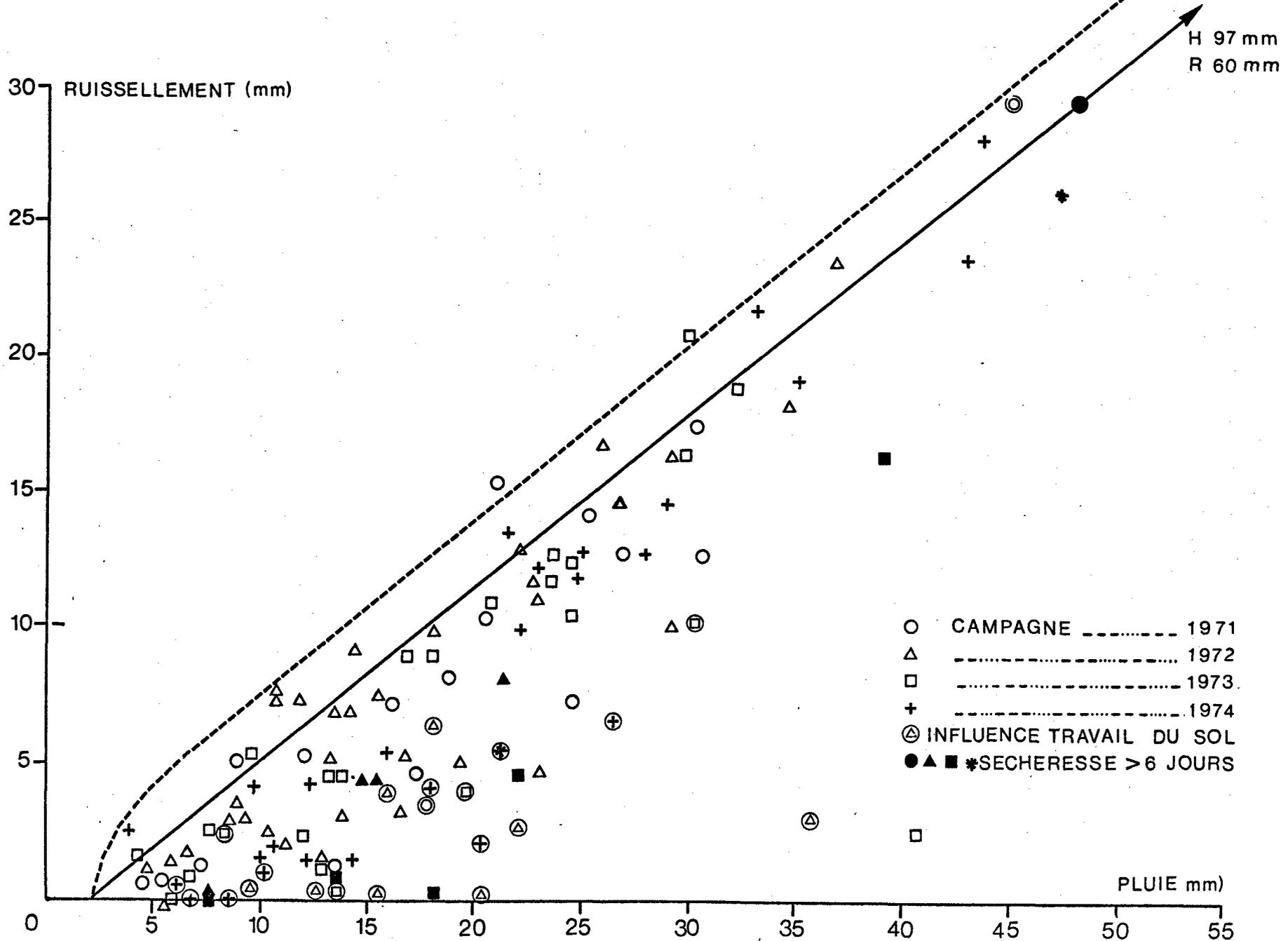
La lame d'eau ruisselée annuellement a varié en fonction des traitements de 2 à 266 mm ce qui correspond à des coefficients de ruissellement annuels moyens (KRAM) de 0,3 à 43 % des précipitations. Au cours des averses exceptionnelles (97 mm le 24/7/73 par exemple) ce coefficient (KRMAX) peut atteindre 70 % sur sol nu de même que sous la culture de sorgho (butté il est vrai dans le sens de la pente) et moins de 1 % sous une vieille jachère protégée.

L'importance du ruissellement ne semble pas étroitement liée à la hauteur totale des précipitations annuelles (ex. KRAM = 43 % sur sol nu en 1971, année où les précipitations furent les plus faibles). Par contre, la lame ruisselée dépend de l'intensité et de la hauteur des averses (voir fig.5), de la succession des pluies, de l'état d'humidité et de la structure de l'horizon superficiel du sol avant l'averse.

#### Note 4

En région montagneuse Ram/Ham varie autour de 0,35 tandis qu'en bordure de la mer ce rapport tend vers 0,60.

Fig. 5 - Lame ruisselée (mm) etc... Saria, parcelle nue, 1971-74



C'est ainsi qu'à la figure 5 fut définie une courbe enveloppe du ruissellement en fonction de la hauteur de l'averse : il apparait que ce ruissellement maximal peut atteindre 65 à 70 % des précipitations lorsque le sol est saturé et recouvert d'une pellicule de battance. Il faut noter que, fort heureusement, le ruissellement est souvent inférieur à cette courbe enveloppe, soit que le sol vienne d'être travaillé (labour annuel et sarclage mensuel) soit que le sol ait eu le temps de se ressuyer entre les pluies. Contrairement à ce que nous avons observé au SENEGAL (ROOSE, 1967), le KR mensuel moyen n'augmente pas au cours de la saison des pluies ni sous culture ni même sur sol nu ; le rythme de succession des pluies et le pouvoir évaporant de l'air sont tels que l'humidité du sol ne peut s'accumuler.

L'effet du travail du sol se fait nettement sentir mais pendant un temps limité à 3 ou 4 semaines pour le labour, 1 à 2 semaines pour le binage ou le buttage (voir tableau 22.5 p. 14 : ROOSE, ARRIVETS, POULAIN, 1974). L'écart entre la lame ruisselée et la courbe enveloppe augmente avec la sécheresse du sol mais le facteur qui influence le plus le ruissellement est certainement le couvert végétal. Le tableau 4 est très clair à cet égard qui montre que le coefficient de ruissellement annuel moyen (KRAM) passe de 35-43 % sur sol nu à 10-37 % sous sorgho, 5 à 20 sur jachère jeune et moins de 1 % sur vieille jachère protégée. De même ce ruissellement passe de 20 % des pluies la première année de jachère à 5 % dès la seconde année de protection. Le simple fait de faucher et d'exporter toutes les herbes des jachères en 1974 a fait remonter quelque peu les coefficients de ruissellement en début de saison des pluies mais le sol fut vite recouvert, les souches n'ayant pas souffert du feu. Cependant, il est probable que l'exportation systématique des pailles des jachères, même sans piétinement par le bétail, diminuerait rapidement l'efficacité des jachères à infiltrer les eaux de pluies car la mésofaune (termites, fourmis, vers de terre) responsable pour une bonne part de la perméabilité du sol a besoin de paille pour se développer.

Tableau 4 Coefficients de ruissellement annuel moyen (KRAM) et ruissellement maximal au cours d'une averse (KRMAX %) observés sur les parcelles d'érosion de SARIA

	Pluies		Sol nu travaillé		Sorgho butté		Jachère jeune		Jachère vieille	
	h (mm)	Rusa	KRAM %	KRMAX %	KRAM %	KRMAX %	KRAM %	KRMAX %	KRAM %	KRMAX %
1971	602	302	43	71	26	57	20	51	10	41
1972	724	295	35	69	10	40	5	29	0,4	2
1973	672	458	40	69	29	64	6	22	0,3	1
1974	714	512	42	71	37	65(84)	8 *	30 *	3 *	8 *

Note \* Fauche et exportation des herbes des parcelles ERLO le 15/5/1974

A titre de comparaison, signalons que des résultats très semblables ont été observés aux stations voisines de GAMPELA et GONSE sur des pentes inférieures à 1 % :

- GAMPELA : KRAM varie de 12 à 45 % sous culture mécanisée billonnée dans le sens de la pente,  
de 2 à 10 % sous culture mécanisée billonnée perpendiculairement,  
de 16 à 32 % sous culture traditionnelle à plat, grattage localisé,
- GONSE : KRAM varie de 0,2 à 16 % sous savane arborescente en fonction de la date du feu de brousse (ROOSE, 1978) ; KRMAX atteint 50 à 70 % en cas de feux de brousse tardif.

Enfin, sur les bassins versants de la région, les écoulements (Ruissellement + Ecoulement de base) atteignent 3 à 10 % des précipitations annuelles (20 % en année décennale humide). Le ruissellement peut s'élever jusqu'à 40 % lors d'une crue. (PIEYNS, KLEIN, 1964).

Sur ces types de sols ferrugineux tropicaux peu perméables et sensibles à la battance, le ruissellement peut donc prendre des proportions intolérables en zone tropicale sèche déficitaire en eau. Cependant, une jachère protégée pendant quelques années améliore considérablement l'infiltration des précipitations.

### 3.3 L'érosion mécanique.

Malgré la modicité de la pente, les pertes en terre furent extrêmement variables (100 kg à 35 t/ha/an) en fonction des traitements.

Tableau 5 Erosion (t/ha) observée sur les parcelles de SARIA (1971-74)

Campagnes	Pluies		Sol nu travaillé				Sorgho butté		Jachère jeune		Jachère vieille	
	h	RySA	E	K(N)	E	C(N)	E	C	E	C	E <sup>30 ans</sup>	C
	mm	t/ha	t/ha		t/ha		t/ha		t/ha		t/ha	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1971 *	461*	254 *	3,4 *	0,06	5,7 *	1,67	0,70 *	0,21	0,17 *	0,05		
1972 **	724	295	13,8	0,21	3,2	0,23	0,43	0,03	0,09	0,006		
1973 **	672	458	35,4	0,35	6,2	0,18	0,19	0,005	0,10	0,003		
1974	714	512	26,8	0,23	14,3	0,53	0,72 ***	0,027	0,34 **	0,013		
Moyenne	643	380	19,8	0,23	7,3	0,37	0,51	0,026	0,17	0,009		

L'influence des traitements apparaît clairement au tableau 5.

Les pertes en terre s'élèvent à 20-35 t/ha/an sur sol nu, 5 à 15 t sous culture de sorgho butté selon la plus grande pente (influence mat. organiques enfouies et couvert végétal incomplet), 0,5 t/ha sur jachère abandonnée à l'enherbement naturel (couvert très efficace dès la deuxième année) et 100 kg/ha sur une très vieille jachère protégée des feux et de toute exploitation. La fauche et l'exportation de toutes les pailles des jachères ont augmenté sensiblement le ruissellement et l'érosion en début de campagne 1974.

Si on compare ces valeurs avec l'érosion tolérée aux U.S.A. (2 à 12 t/ha/an) en fonction de la profondeur et de la qualité du sol, on constate que ces pertes ne sont pas quantitativement catastrophiques pour les sols profonds de la région.

#### Notes :

\* Campagne incomplète débutant le 8/7/71 : aucune grosse averse érosive auparavant.

\*\* L'érosion de 1972 et surtout 1973 est modifiée par rapport aux chiffres avancés dans les rapports précédents suite à la découverte d'erreurs de prélèvements de turbidité. C'est pourquoi nous donnons en annexe les valeurs journalières et mensuelles corrigées en fonction de la charge en suspension des gros prélèvements de 200 litres et non des prélèvements de 1 litre. Cependant cette correction ne modifie guère le sens des conclusions des précédents rapports.

\*\*\* Fauche et exportation de toutes les pailles le 15/5 1974 avant le début des pluies (N) K = érodibilité du sol et C = traitement, Erosion sur sol nu (voir plus loin).

Par contre, elles sont graves là où la cuirasse est située à faible profondeur, d'autant plus que l'érosion arrache sélectivement les particules colloïdales organiques et minérales qui assurent la réserve en eau et en éléments nutritifs du sol : les horizons labourables deviennent de plus en plus sableux, squelettiques.

- Au tableau 5 apparait une évolution des pertes en terre au cours des années.

- Sur sol nu, en 1972 et surtout en 1971, l'érosion fut nettement plus faible que les années suivantes ; Outre la faiblesse de l'agressivité des pluies ( $R_{USA}$ ) il faut faire intervenir l'influence des matières organiques résiduelles dont l'évolution se stabilise au bout de 2 ou 3 années. Sous jachère, surtout la jeune jachère, la diminution des pertes en terre est rapide en fonction de l'évolution de la couverture végétale et de l'amélioration de la perméabilité à la surface du sol (développement de la population de termites en même temps que la productivité en pailles). (voir tableau 6).

Tableau 6 Evolution du couvert végétal aux cases ERLO de SARIA

Parcelles ERLO en	Protection	$P_7$
30/8/1971	85 %	5 %
28/8/73	96 %	94 %
15/5/74	96 %	96 %
24/3/75	95 %	90 %

Sous culture l'augmentation de l'érosion s'explique avant tout par l'érosivité des pluies ( $R_{USA}$ ) et par les dates respectives du semis + resemis et des pluies agressives. (voir tableau 7).

Tableau 7 Evolution de l'érosion sous culture en fonction de différents facteurs.

	Pluies H (mm)	$R_{USA}$	Ruiss. KRAM %	Erosion t/ha	dates semis	Pluies 30 jours	$R_{USA}$ dont max.	Rendement kg/ha
1972	724	295	10 %	3,2	14 et 24/6	88	34,5 laverse	(grain 1.340 (paille 8.375
1973	672	458	29 %	6,2	22 et 28/6	308	171	(grain 975 (paille 4.200
1974	714	<u>512</u>	<u>37 %</u>	<u>14,3</u>	29/6 et <u>6/7</u>	197	<u>95 puis 52</u>	(grain 1.155 (paille 2.580

Note sont soulignées les valeurs qui nous ont paru significative.

- Le travail du sol favorise l'infiltration et freine momentanément l'érosion mais celle-ci reprend plus rapidement que le ruissellement car la charge solide des eaux est très élevée lorsqu'on pulvérise la pellicule de battance (perte de cohésion du sol). (voir tableau 22.5 : ROOSE - ARRIVETS - POULAIN : 1974). Il faut donc envisager non seulement de labourer profondément le sol pour stocker une lame d'eau la plus importante possible à la disposition des racines mais aussi d'orienter les façons culturales perpendiculairement à la pente (même si la pente n'atteint pas 1 %) pour limiter les déplacements de terre.

- Il est intéressant de noter l'importance des averses exceptionnelles qui influencent généralement beaucoup le niveau de l'érosion globale quelles que soient les précipitations du restant de l'année :

	Pluie		R mm E kg/ha	Sol nu travaillé		Sorgho butté		Jeune jachère		vieille jachère	
	h mm			>	% du total annuel						
24/7/73	97	171		> 68 21.533	(26 %) (61 %)	> 61,1 2.385	(32 %) (38 %)	> 21,3 63	(53 %) (32 %)	0,2 18	(10 %) (18 %)
26/7/74	54	95		37 5.592	(12 %) (21 %)	34 3.288	(13 %) (23 %)	16,3 37	(28 %) (20 %)	3,8 35	(17 %) (9 %)

Note ( ) % du total annuel

La pluie du 24 juillet 1973 (pluie décennale) représente 14 % de la hauteur annuelle : elle a provoqué 20 à 40 % de l'érosion observée sous végétation (70 % sur sol nu) et 10 à 50 % du ruissellement. Sous la vieille jachère, la perméabilité élevée du sol gravillonnaire bien protégée par une litière de pailles est restée supérieure à l'intensité de la pluie (100 mm/h. pendant 30 minutes). En P<sub>7</sub> par contre où un mince sol ferrugineux recouvre une carapace peu perméable, le ruissellement est très élevé ce qui a permis la manifestation de l'érosivité de cette pluie. La seconde pluie en importance (54 mm) est tombée le 26 juillet 1974 : elle n'entraîne que 9 à 28 % des manifestations de l'érosion annuelle. Dès que le sol est couvert, il faut donc admettre avec WISCHMEIER, que c'est la somme des énergies de toutes les pluies significatives (plus de 10 mm) qui fixe le niveau de l'érosion en nappe et non l'énergie des pluies exceptionnelles (décennales ou centennales) qui, elles, détermineraient le niveau des transports dans les rivières (HEUSCH au MAROC, 1970 et 71).

- L'équation de prévision de l'érosion en nappe et rigole de WISCHMEIER et SMITH (1960) est maintenant bien connue.  $E = R \cdot K \cdot SL \cdot C \cdot P$ .

Les essais mis en place à SARIA nous permettent d'estimer la valeur prise par certains de ses coefficients (voir tableau 5).

R : L'indice d'érosivité climatique a été estimé plus haut à  $R_{USA} = 455$  en moyenne annuelle.

K : L'indice d'érodibilité du sol se calcule à partir de l'érosion mesurée sur une parcelle nue, travaillée, sans apports de matières organiques. On peut voir au tableau 5 colonne 4 que K croit de 0,05 à 0,35 autour d'une moyenne de  $K = 0,23$ .

Si on applique le nomographe de WISCHMEIER, JONHSON et CROSS (1971) on trouve que K varie de 0,22 à 0,36 en  $P_7$  et de 0,22 à 0,24 en protection en fonction des résultats analytiques et de l'estimation de la perméabilité.

D'après les résultats de DUMAS (1965) K s'élèverait à 0,28 en  $P_7$  et 0,05 sur le sol gravillonnaire (10 % de gravillons dès la surface).

Après un ou deux ans de culture, on obtient des valeurs de K qui sont finalement très proches de celles de WISCHMEIER pour  $P_7$  et de celles de DUMAS pour la parcelle de protection (problème de protection de la surface du sol par les cailloux). Les sols ferrugineux étudiés (GAMPELA et SARIA :  $K = 0,20$  à  $0,30$  après 2 ans de culture) sont donc plus érodibles après deux années de culture que les sols ferrallitiques ( $K = 0,02$  à  $0,20$ ) ; cependant ces sols tropicaux sont bien moins érodibles (surtout s'ils sont gravillonnaires en surface) que bon nombre de sols lessivés des régions tempérées d'EUROPE et d'AMERIQUE (K varie de 0,05 à 0,70 lorsque leur érodibilité augmente).

C : L'efficacité de la couverture végétale varie d'une année à l'autre mais en moyenne on peut considérer que  $C = 1$  sur sol nu travaillé ;  
 $C = 0,4$  sur culture de sorgho buttée sans tenir compte de la pente ;  
 $C = 0,03$  sur une jachère de 2 ans et 0,01 ou même moins sous une vieille jachère intégralement protégée. Une savane dense protège donc le sol presque aussi bien qu'une forêt dense.

S L : Le facteur topographique à SARIA =  $S L = 0,0997$  pour une pente de 22,2 mètres de long et 0,7 % d'inclinaison.

P : Aucune technique antiérosive n'a été testée sur les parcelles de SARIA mais on pourrait se baser sur les données obtenues aux U.S.A. :

P = 0,75 si le labour est isohypse sur pente < 2 %

0,50 en cas de labour + buttage isohypse

0,25 si labour et bandes d'arrêt enherbées isohypses

0,01 s'il est fait usage d'un mulch de paille (3 à 6 t/ha de pailles sèches suffisent pour bloquer totalement les phénomènes d'érosion).

Notons enfin qu'à GAMPELA, le C.T.F.T. a mesuré des pertes en terre de l'ordre de 1 à 10 t/ha/an sous culture et 10 à 21 t/ha sur sol nu. A

GONSE (ROOSE 1978) l'érosion varie de 20 à 400 kg/ha sous savane arborescente en fonction de la date du feu de brousse. Ces valeurs sont très voisines de celles qui ont été observées à SARIA.

### 3.4 Conclusions sur les phénomènes d'érosion

Durant les 4 années d'observation, les précipitations furent déficitaires par rapport à la moyenne mais des averses et des séquences d'averses intéressantes ont donné lieu à des manifestations importantes d'érosion.

Dans cette région soudano-sahélienne où l'alimentation hydrique des cultures est si précaire, les pertes par ruissellement sont inadmissibles. Or, le ruissellement annuel peut atteindre 20 à 40 % sous les cultures traditionnelles et 70 % des averses importantes. Sous savane ou jachère de plus de 2 ans par contre, l'infiltration est presque totale.

Les transports de terre sont relativement réduits sur les faibles pentes : jusqu'à 35 t/ha sur sol nu , 8 - 15 t/ha sous culture et moins de 0,5 t/ha sous jachère de 2 ans et plus. Le labour a une action nette sur l'infiltration mais elle est temporaire ; l'amélioration apportée par les façons superficielles (sarclage et buttage) est encore plus fugace. Par contre, le couvert végétal vivant ou mort (mulch) est extrêmement efficace.

Dans ces régions peu pentues où les pluies ne dépassent pas 100 mm par jour, où l'E.T.R reste très élevée en saison des pluies, la mise en valeur de ce type de sol nécessite avant tout une amélioration de l'infiltration des précipitations par des petits aménagements antiérosifs visant la rétention totale des eaux de pluie (gros billons isohypses enherbés), par l'utilisation sur place de toutes les matières organiques disponibles, par les travaux du sol favorisant l'enracinement et détruisant la pellicule de battance et enfin par toutes les techniques permettant d'augmenter la densité du couvert végétal (fertilisation équilibrée), semis dense et hâtif, variétés vigoureuses, lutte phyto sanitaire, apport de mulch en début de cycle).

## CHAPITRE 4 ESSAIS DE BILAN HYDRIQUE

Ne disposant pas des données d'évapotranspiration réelle (ETR), il n'est pas possible de calculer un bilan hydrique exact. Cependant nous tenterons de schématiser le bilan hydrique annuel sur la base des données dont nous disposons à l'échelle mensuelle et ceci sous savane ou sous culture (sorgho), pour les deux types de sols ferrugineux examinés, en année moyenne, humide et sèche. Enfin, nous en tirerons les conséquences en ce qui concerne les aménagements antiérosifs et les dangers de pertes en éléments par drainage.

### 4.1. Les données d'observation.

4.1.1. Les précipitations : nous disposons des observations journalières des pluies à SARIA au poste météo de 1946 à 74 et aux postes "P7" et "Protection" de 1971 à 74. Les précipitations mensuelles moyennes sont celles du poste météo de SARIA de 1946 à 1970 (voir ARRIVETS-ROOSE-CARLIER, 1973). Aucune différence significative n'apparaît à l'échelle annuelle entre les précipitations mesurées aux trois postes pluviométriques de SARIA.

4.1.2. Le ruissellement. Il varie en fonction des quatre cas analysés :

a) sur sol ferrugineux induré vers 50 cm (= P7),

1 - sur la jachère jeune dont la couverture végétale augmente de 5 à plus de 94 % du sol, le ruissellement (KRAM %) a diminué de 20 à 5 % des pluies. On retiendra un coefficient de ruissellement annuel moyen (KRAM) de 5 % pour une jachère de plus de 2 ans pas trop exploitée et soumise à des feux de brousse précoces.

2 - sur sorgho labouré, puis butté dans le sens de la pente : KRAM varie de 10 à 37 % des pluies. En année moyenne, on estimera le ruissellement sous culture de sorgho à 25 %.

b) sur sol ferrugineux gravillonnaire dès la surface (= Protection),

3 - sous une vieille jachère bien couverte, le ruissellement a encore diminué de KRAM = 10 à 0,3 % lorsqu'elle fut protégée non seulement des feux mais aussi de tout pâturage. On retiendra pour ce type de savane arborée pas trop exploitée un coefficient de ruissellement KRAM de l'ordre de 3 %.

4 - nous n'avons pas mesuré sur sol gravillonnaire l'érosion sous culture à SARIA, mais à GAMPELA, le C.T.F.T. a mesuré des coefficients annuels de ruissellement de l'ordre 15 % sous sorgho avec labour et buttage dans le sens de la pente.

4.1.3. Le drainage vertical mesuré aux lysimètres. La méthode lysimétrique a ses limites. Si le sol est reconstitué dans une cuve, l'architecture des pores est modifiée et avec elle, change le cheminement des eaux infiltrées (surtout la dynamique rapide) et les échanges entre le sol et le percolat. Même si le sol n'est pas remanié, les échanges naturels d'eau avec le milieu extérieur sont contrecarrés de diverses manières : retenue d'eau par tension capillaire au fond du lysimètre, infiltration forcée du ruissellement à l'intérieur du lysimètre, évapotranspiration augmentée ou diminuée selon les circonstances, précipitations hétérogènes en fonction du couvert végétal. Il est donc normal que les résultats soient assez variables d'autant plus que surgissent quelque fois des valeurs aberrantes (colmatage, attaques par les rats, infiltration favorisée par les termites ou les vers).

En pratique, nous avons donné les valeurs observées brutes (voir rapports et annexes) mais nous ne retiendrons pour les calculs de bilan que les valeurs moyennes (après suppression des valeurs aberrantes) ; nous défalquons du drainage brut le ruissellement mesuré sur les parcelles d'érosion (voir tableau 8).

Du tableau 8 et des résumés mensuels (voir rapports précédents) on peut conclure

- que le drainage est généralement limité aux mois de juillet à septembre ;
- que le drainage a été le plus fort en 1973, année très déficitaire sur le plan agronomique mais où les précipitations furent concentrées en juillet (205 mm) ;
- que le drainage est plus important sur les sols gravillonnaires dès la surface (D.V. moyen Prot = 145 mm) que sur sol ferrugineux à carapace enfouie sous 50 cm de terre fine (D.V. moyen en  $P_7$  = 57 mm) ; de toute façon, le drainage observé dans cette zone soudanienne (0 à 232 mm) est nettement plus modeste que ceux que nous avons mesurés par la même méthode dans les sols ferrallitiques de COTE D'IVOIRE (D.V. = 400 à 1400 mm).

Tableau 8. Drainage annuel mesuré en lysimètre : SARIA 1971-74.

			1971	1972	1973	1974	Moyenne (mm)	sur 4 ans % des pluies
50 cm carapace	Sorgho	Pluie (mm)	616,6	724,3	672,4	714,0	681,8	100
		DV brut	70,8	31,2	203,4	187,1	123,1	18 %
		Ruiss.	153,5	75,5	182,3	264,1	168,9	24,8 %
		DV Corrigé "	0	0	21,1	0	9,6	1,4 %
P <sub>7</sub> Sol ferru. Jachère	jeune Jachère	Pluie	616,6	724,2	672,4	714,0	681,8	100 %
		DV brut	70,1	166,1	203,8	179,7	154,9	22,7 %
		Ruiss.	117,8	34,1	37,9	57,1	61,7	9,0 %
		DV corrigé "	0	132,0	165,9	122,6	105,1	15,4 %
Protection Sol ferrugineux gravill.	vieille Jachère	Pluie (mm)	630,3	765,1	711,2	707,9	703,6	100 %
		DV brut "	173,7	214,2	234,1	170,6	198,2	28,2 %
		Ruiss. "	59,8	2,7	2,0	21,4	21,5	3,1 %
		DV corrigé"	113,9	211,6	232,1	149,2	176,7	25,1 %
Protection Sol ferrugineux gravill.	Sorgho	Pluie (mm)	-	765,1	711,2	707,9	728,1	100 %
		DV brut "	-	163,8	293,6	214,8	224,1	30,8 %
		Ruiss. "	-	(114,8)	(106,7)	(107,1)	109,5	15,0 %
		DV corrigé"	-	(49,0)	186,9	107,7	114,5	15,7 %

Remarquons enfin que le drainage au-delà de 1 mètre de profondeur est plus faible sous sorgho ( 1 à 16 % des pluies) que sous jachère (15 à 25 % des pluies). Ce dernier point est paradoxal car une jachère bien installée consomme plus d'eau qu'une culture (AUDRY, 1967) étant donnée l'importance de l'enracinement.

Cependant sous une jachère intégralement protégée, le ruissellement tend à disparaître et les précipitations s'infiltrent en profondeur où elles seront récupérées en octobre - novembre pour assurer l'équilibre hydrique de la savane. Par contre sous sorgho, la pénétration des eaux est limitée par la pellicule de battance et la semelle de labour : les précipitations seraient donc évacuées en bonne partie dès la surface du sol par ruissellement et évaporation.

#### 4.1.4. Le drainage oblique

Aucune manifestation de drainage oblique n'a été constatée en "Protection" de 1971 à 74 ni en "P<sub>7</sub>" les deux premières années. Par contre, il y eu 4 épisodes importants en 1973 et 13 en 1974 en "P<sub>7</sub>" (voir tableau 9 en annexe). Sur deux mètres de front et deux mètres de profondeur, on a recueilli plus de 280 litres en 1973 et plus de 1102 litres en 1974. Etant donnée la situation de la parcelle au milieu d'un long glacis, il n'est pas possible de connaître l'origine de ces eaux, mais si on ne considère que la surface de la parcelle ERLO, cela correspondrait à près de 2 % du bilan hydrique en 1974, année encore déficitaire.

- Bien que peu fréquent, le drainage oblique peut donc se manifester dans ces paysages très plats du plateau MOSSI (moins de 1 % de pente en P<sub>7</sub>) à l'occasion de séquences pluvieuses ou d'averses relativement importantes, soit que l'intensité dépasse 50 mm/h pendant 30' soit que le sol soit humide ( 10 jours supérieur à 50 mm), soit que la nappe phréatique soit très élevée. (Ex. 13 et 15/9/74).

Tableau 9. Drainage oblique (litres) observé aux cases ERLO de SARIA. 1971 à 1974.

	En		Parcelle 7		En Protection 1971 à 1974
	1971	1972	1973	1974	
S <sub>1</sub> 25 cm Nor gris + beige	0	0	*	99,7	0
S <sub>2</sub> 45 " " brun jaune	0	0	> 93,32	> 261,5	
S <sub>3</sub> 65 " " grav. gris	0	0	> 118,52	> 249,6	0
S <sub>4</sub> 100 " " dans carapace	0	0	7,43 *	> 55,7	0
S <sub>5</sub> 150 " " bariolé rouge + ocre	0	0	2,52 *	> 172,7	0
S <sub>6</sub> 200 " " " " + ocre + blanc	0	0	50,66	> 262,7	0
Total en litres	0	0	> 273	> 1102	0

\* Il y eu plusieurs incidents de telle sorte que les mesures sont évaluées par défaut.

- Comme à GONSE, le drainage oblique se manifeste :

soit lors d'une forte averse en début de saison des pluies (Ex. 10/5/74) ; les eaux pénètrent en profondeur sans mouiller vraiment le profil grâce aux fentes et mégapores d'origines biologiques,

soit lors d'une série d'averses moyennes (20-30 mm) à fortes (plus de 40 mm) tombant sur un sol relativement humide (juillet-août-septembre).

- Si rare soit-il, le drainage oblique laisse des traces morphologiques dans les horizons concernés. Ainsi, il n'y eut aucun drainage oblique en Protection sur le sol gravillonnaire très poreux dès la surface. Par contre, il s'est manifesté dans les horizons bruns jaunes (S<sub>2</sub>) et surtout S<sub>3</sub> où on observe un niveau gravillonnaire gris à la surface de la carapace. De même le drainage oblique peut-être abondant dans les horizons bariolés (S<sub>5</sub> et S<sub>6</sub>) en particulier là où apparaissent les tâches blanches ; il est vrai que la nappe phréatique est remontée deux fois jusqu'à moins de 2 mètres de profondeur, perturbant sérieusement les observations de drainage.

Note :

Les résultats de l'analyse des échantillons d'eau de drainage oblique laissent cependant quelques doutes sur l'origine des eaux prélevées sous la cuirasse : en effet, elles sont beaucoup plus pauvres en sodium et silice que les eaux drainant à ces niveaux (cases D.V. et nappe phréatique). Il se pourrait donc que des eaux superficielles (pluie-ruisellement ?) se soient mélangées dans les bidons sans qu'il nous ai été possible sur le terrain de le constater durant nos enquêtes à ce sujet.

- A moins d'intégrer dans le drainage oblique les mouvements de vidange de la nappe phréatique (par ex. au contact avec la roche altérée, il semble qu'on a généralement exagéré l'importance du drainage oblique par manque de mesures précises. Il est néanmoins surprenant de constater que le drainage oblique observé dans la parcelle P<sub>7</sub> sous jeune jachère est l'un des plus élevés que nous ayons constaté sur l'ensemble de nos dispositifs (avec celui de la parcelle d'AZAGUIE sur schistes).

Lorsqu'il existe un horizon superficiel perméable et un niveau imperméable à faible profondeur, on peut s'attendre à observer du drainage oblique même sur pente très faible sous climat soudano-Sahélien. Cependant, si la couleur des horizons concernés par ce drainage oblique peut évoluer, les transports solides à longue distance sont probablement limités vu la lenteur du déplacement et la faiblesse des débits. Le drainage oblique constitue plutôt des poches humides localisées et temporaires favorisant une répartition en mosaïque des sols.

#### 4.1.5. Le niveau de la nappe. (tableaux 10 et 10', fig. 6)

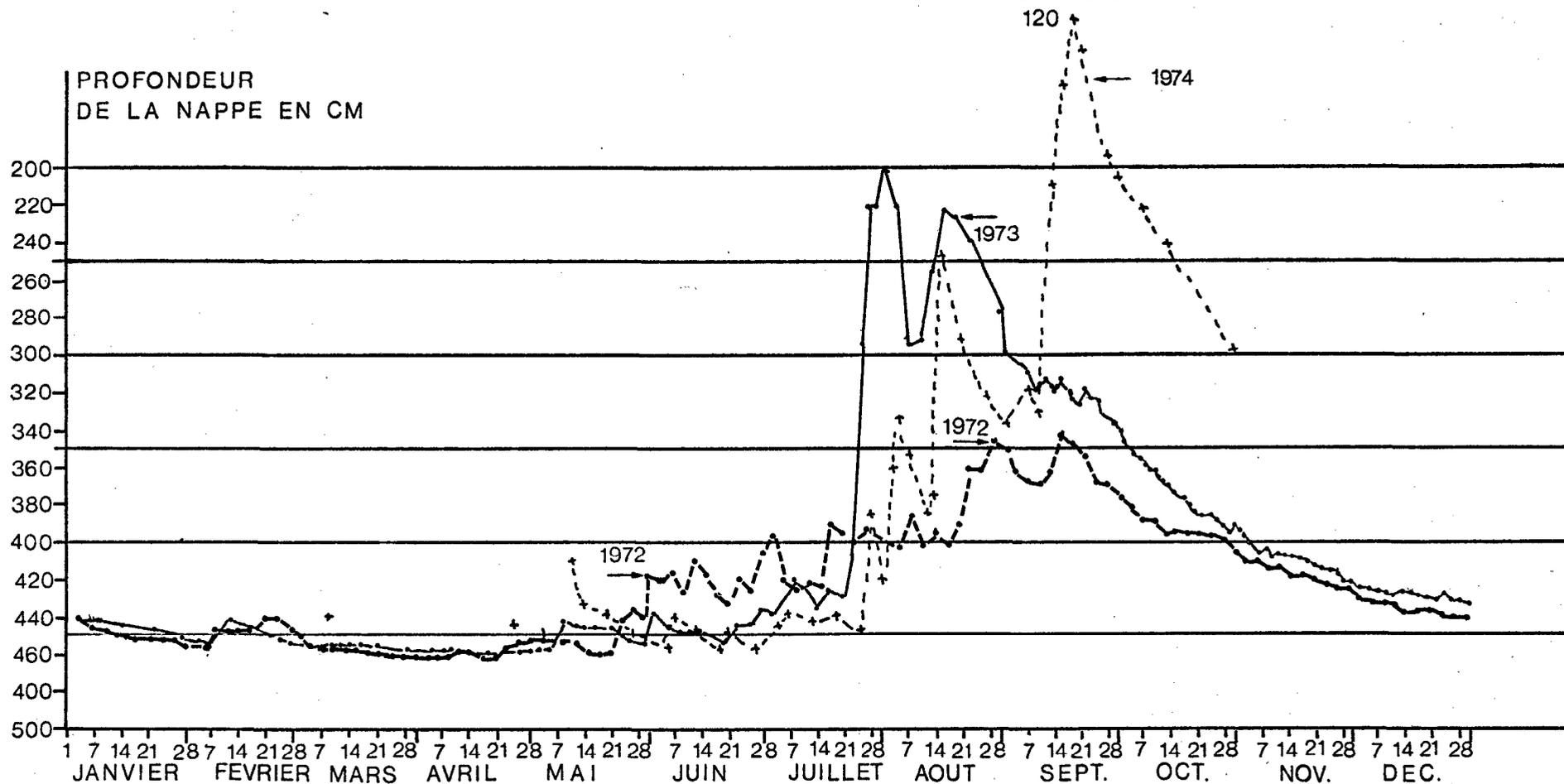
L'observation du niveau de la nappe au puits n° 1 de la parcelle P<sub>7</sub> a été effectuée tous les 3 jours de juillet 1971 à octobre 1974 et tous les jours durant les saisons des pluies ; ce puits ne sert qu'à ces mesures piézométriques.

Tableau 10. Résumé des observations sur le niveau de la nappe en parcelle P<sub>7</sub> à SARIA.

	Niveau le plus bas		Début de montée de nappe		Niveau le plus haut	
	cm	date	Pluie préalable	date	cm	date
1971	438 cm	le 1/7/71	150 mm	8 et 10/7	302	du 18/8 au 18/9
1972	450-461	du 10/1 au 21/5	84 mm	31 mai	343	le 16/9
1973	450-460	du 19/1 au 30/5	105 mm	31/5	220-200	du 27/7 au 4/8
1974	440-456	de janv. à 5/7/74	125 mm	10/5 puis 5/7	120-140 et 230	du 16 au 21/9 jusqu'au 3/10

Au tableau 10, on constate que le niveau le plus bas (440-460 cm de profondeur depuis la surface du sol) est atteint de janvier à mai et dure quelquefois jusqu'en juillet. Ensuite la nappe remonte par palier jusqu'en fin juillet à mi-septembre : elle oscille autour de 3 mètres mais peut remonter jusqu'à 2 mètres et même moins (120 cm du 16 au 21/9/74) durant de courtes périodes particulièrement pluvieuses. Rappelons que le drainage recueilli au bas des lysimètres commence en juin et se termine fin septembre.

Fig. 6 - Evolution du niveau de la nappe au puits n° 1. Saria: parcelle 7, campagnes 1972-73-74



Le retard entre la montée de la nappe et les averses semble varier de 10 à 30 heures en fonction de la sécheresse du sol. D'après les propriétés hydrodynamiques du sol mesurées sur le terrain, la remontée de la nappe sur 250 cm représente 100 à 150 mm de pluie. Une fois la réserve hydrique du sol rétablie au-dessus de la carapace (60 mm), une faible lame d'eau infiltrée entraîne une forte remontée de la nappe ; en effet l'écart entre la porosité totale (31 %) et l'humidité volumique à la capacité au champ ( $hV = 25-27\%$ ) ne représente que 4 à 6%.

Connaissant les variations du niveau de la nappe et les propriétés physiques des horizons profonds d'une part, les précipitations et le ruissellement d'autre part, on peut analyser l'origine de la montée de la nappe. (voir annexe 31.2 rapport 73). On constate que lors des grands épisodes pluvieux, il faut quelquefois faire appel à des apports obliques d'eau piégée en amont pour justifier les fortes variations de profondeur de la nappe mais ces apports (drainage oblique) sont généralement modestes (0 à 20 mm).

Le bassin versant a une pente très faible voisine de 0,7 % et le marigot présente un profil en long à pente encore plus faible (0,15 %) formé d'une succession de cuvettes. Les premières averses remplissent ces cuvettes et l'eau qui s'y infiltre fait remonter quelque peu la nappe (sensible jusqu'en  $P_7$ ). Il arrive un moment où la nappe affleure au centre du bas fond et alimente le débit de base du marigot dès la fin juillet. L'écoulement du marigot redevient temporaire en octobre (ARRIVETS, ROOSE, CARLIER : 1973).

#### 4.1.6. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration réelle (ETR) n'a pas été observée. Par contre, l'évapotranspiration potentielle (ETP) a fait l'objet de mesures systématiques en  $P_7$  dans deux cuves standard ( $2\text{ m}^2$ ) à niveau d'eau constant sous un couvert de Gynodon dactylon. Le drainage de ces évapotranspiromètres étant irrégulier, on n'a pu obtenir de valeurs raisonnables pour des périodes inférieures à un mois. Au tableau 11 sont comparées les valeurs moyennes de l'ETP mesurées aux bacs et de l'ETP calculée selon la méthode de Turc pour le poste OUAGA (d'après ELDIN, communication en 1971).

Tableau 11	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
ETP bac SARIA													
mm/mois	174	183	194	177	182	149	115	104	139	158	161	149	1885
mm/jour	5,6	6,5	6,3	5,9	5,9	5,0	3,7	3,4	4,6	5,1	5,4	4,8	5,2
ETP Turc OUAGA													
mm/mois	187	188	216	178	155	136	129	116	126	149	165	160	1905
mm/jour	6,0	6,5	7,0	5,9	5,0	4,5	4,2	3,7	4,2	4,8	5,5	5,2	5,2

On constate au tableau 11 que ces estimations sont du même ordre de grandeur (ETP =  $\pm$  1900 mm en moyenne) : l'ETP diminue de 5,5 à 7 mm/jour en saison sèche à 3,4 à 5 mm/jour en saison des pluies. L'évapotranspiration reste donc très forte en pleine saison des pluies (fort ensoleillement entre deux averses) dans cette zone soudano-sahélienne alors qu'en zone tropicale humide elle ne dépasse pas 1 à 2 mm/jour en saison des pluies. Cette ambiance desséchante et le ruissellement très élevé vont défavoriser le drainage et les échanges avec les horizons profonds dans ce type de sol.

#### 4.1.7. La réserve hydrique du sol.

Elle se calcule en soustrayant l'humidité volumique du sol au point de flétrissement de celle qu'on observe sur le terrain lorsque le sol est à capacité au champ.

Profondeur	Réserve en $P_7$ (mm)	Réserve en Protection (mm)
de 0 à 30 cm	36 mm	34 mm
de 0 à 60 cm	72 mm	70 mm
de 0 à 100 cm	125 mm	120 mm

Cependant la réserve facilement utilisable serait de 30 mm en  $P_7$  et de 20 mm en Protection, ce qui est très peu. Trois semaines après la dernière pluie utile, la réserve d'eau du sol est épuisée dans les sols superficiels étudiés. Si l'on veut bien se rappeler que la durée du cycle des céréales comme le sorgho, le maïs et le riz sec varie autour de 4 mois, on comprendra l'influence majeure de la réserve hydrique du sol (en somme sa profondeur utile) et de la durée s'écoulant entre la première et la dernière pluie utile.

4.2. Schémas de bilans hydriques annuels calculés et discussion.

Ces schémas ont été calculés mensuellement à partir de la formule générale (Pluie = Ruiss. + drain. = E.R.R. + var Stock.) dans laquelle pluie et ruissellement sont mesurés tandis que ETR et le drainage sont estimés en fonction de l'ETP. En saison sèche, il n'y a pas de drainage et (ETR = Pluie - Ruiss.). Par contre en saison humide, l'ETR est voisin de l'ETP et (DV = Pluie - (ETP + Ruiss.)), aux variations d'humidité du sol près. En effet, à l'arrêt des pluies, les plantes évaporent l'eau des réserves du sol. Il faut donc ajouter à l'ETR la différence de stock d'eau du sol (profil humide - profil sec) et la soustraire au drainage.

Au tableau 12 sont reportés les bilans annuels de 1971 à 74 pour deux couverts végétaux et deux types de sols. (variations de stock = 60 et 40 mm).

Tableau 12. Essais de bilans hydriques sous savane et culture sur deux sols ferrugineux superficiels de SARIA. (réserve = 60 mm en P7 et 40 mm en Protection).

	SARIA	Pluie (mm)	Ruissellement (mm)		ETR Corrigé (% de Pluie)		Drain. vert. Corrigé (mm)	
			Jachère	Sorgho	Jachère	Sorgho	Jachère	Sorgho
P. Sol ferrugineux carapace à 50 cm Réserve = 60 mm	1971	616,6	117,8	153,5	81 %	75 %	0	0
	1972	724,3	34,5	75,0	77 %	90 %	132,0	0
	1973	672,4	37,9	182,3	70 %	67 %	165,9	38,5
	1974	714,0	56,5	263,6	78 %	63 %	101,5	0
	Moyenne	682	61,7 mm ( 9 %	168,7 mm ( 24,7 %	520,3 mm ( 76,3 %	503,2 ( 73,8 %	99,9 mm ( 14,6 %	9,6 mm ( 1,4 %
Protection - sol ferrugineux gravill. Réserve = 40 mm	1971	630,3	59,8	-	72 %	-	113,9	(0)
	1972	765,1	2,7	-	72 %	-	211,6	(40)
	1973	711,2	2,0	-	67 %	-	232,1	(187)
	1974	708,0	22,7	-	82 %	-	105,3	(48,7)
	Moyenne	704	21,8 mm ( 3,1 %	estimé ( 15 %	515,6 mm ( 73,2 %	calculé ( 84 %	165,7 mm ( 23,5 %	68,9 mm ( 1 %
GONSE 1968-74		697 mm	5,8 %	-	93 %	-	1,2 %	-

\* Nous ne disposons pas de mesure de ruissellement sous sorgho sur sol gravillonnaire à SARIA = nous avons estimé ce ruissellement à 15 % selon les observations du C.T.F.T. à GAMPELA.

D'après les observations effectuées à SARIA sur les pluies, le ruissellement et le drainage, l'évapotranspiration réelle sous sorgho est du même ordre de grandeur que sous savane soit environ 75 %. En dehors de tout aménagement antiérosif, le drainage est inversement proportionnel au ruissellement : comme le ruissellement est plus élevé sous sorgho (KRAM = 15 à 25 %) que sous savane (KRAM = 3 à 9 %), la percolation des eaux infiltrées est plus abondante sous savane au-delà de 1 mètre de profondeur. Dans le cas d'un champ cultivé aménagé pour limiter le ruissellement des eaux, une bonne partie des eaux infiltrées serait utilisée par la culture (et non perdue par drainage), surtout en début et fin de saison. On constate également que le drainage est nettement plus élevé dans le sol gravillonnaire car il est plus perméable et sa réserve hydrique est moindre. Les risques de perte en eau et en éléments nutritifs par drainage y sont donc plus élevés que sur sol ferrugineux à carapace enfouie plus profondément. Ces sols grossiers participent donc activement à la réalimentation de la nappe phréatique. Sous la savane arborescente de GONSE, ROOSE (1978) a trouvé des ruissellements du même ordre mais le drainage est encore plus faible (10 mm à GONSE, 100 mm à SARIA). Cela tient essentiellement à la différence du stock d'humidité du sol (60 mm à SARIA et 192 mm à GONSE).

Tableau 13. Drainage vertical mesuré en lysimètre ou estimé à partir des mesures des précipitations, du ruissellement et de ETP.

Pluie moyenne 682 mm	Sol ferrug. /carapace à 50 cm		Sol ferrug. gravill. dès surface	
	Jachère	Sorgho	Jachère	Sorgho
D.V. mesuré lysimètre corrigé - Ruiss.	105,1 mm ( 15,4 %	5,3 mm ( 0,8 %	176,7 mm 25,1 %	114,5 mm * 15,7 %
D.V. estimé équation corrigé - 1 stock	99,9 mm ( 14,6 %	9,6 mm ( 1,4 % *	165,7 mm 23,5 %	68,9 mm 1 %

\* Pas de lysimètre sous culture en 1971.

Si on compare la mesure du drainage vertical sous lysimètre (dont on a soustrait le ruissellement) à l'estimation obtenue à partir des mesures de la pluie, du ruissellement et de l'ETP, on constate qu'on obtient pratiquement les mêmes valeurs (voir tableau 13).

La différence de drainage constatée sous sorgho tient à ce qu'il n'y avait pas de lysimètre cultivé en sorgho sur le sol gravillonnaire en 1971 (donc 3 mesures comparées à 4 estimations).

Etant donnés les faibles écarts entre le drainage estimé et le drainage mesuré (en lysimètres) de 1971 à 74, nous avons tenté de généraliser ces estimations du drainage à des conditions pluviométriques moyennes, sèches et humides de la région de KOUDOUGOU.

Tableau 14. Schéma de bilan hydrique en année sèche (1971), moyenne (1946-70) et humide (1958) pour la région de SARIA sur 2 types de sol et de couvert végétal.

	Sol ferrugineux/carapace à 50 cm		Sol ferrugineux gravillonnaire	
	Sorgho	Jachère	Sorgho	Jachère
Années sèche 1971	Pluie = 616,6	mm	ETP = 2096 mm	
moyenne 1946/70	= 826	mm	= 1905 mm	
humide 1958	= 1075,6	mm	= 1713 mm	
Ruissellement				
Année sèche	20 %	4 %	13 %	2 %
moyenne	25 %	5 %	15 %	3 %
humide	30 %	8 %	18 %	5 %
ETR corrigé				
Année sèche	80 %	93 %	86 %	90 %
moyenne	72 %	78 %	73 %	77 %
humide	52 %	54 %	52 %	53 %
Drain. vert. corrigé				
Année sèche	0 %	3 % (20mm)	3 % (17mm)	8 % (47mm)
moyenne	2,5 % (21mm)	17 % (136mm)	12 % (96mm)	20 % (168mm)
humide	18 % (191mm)	38 % (404mm)	30 % (322mm)	42 % (454mm)

On constate au tableau 14, que le drainage estimé varie de 21 à 170 millimètres en année moyenne en fonction du ruissellement qu'il est indispensable de mesurer expérimentalement. Ce drainage est faible sur sol ferrugineux tropical mais augmente sensiblement avec la charge en éléments grossiers du sol (sables grossiers, gravillons, blocs de cuirasse) car les variations d'humidité du profil diminuent. Ainsi à GONSE, le drainage hors du profil est encore plus restreint qu'à SARIA car les variations du stock d'humidité du sol s'élèvent à 192 mm sur 180 cm de profondeur (avant la cuirasse).

En année sèche (P = 600 mm) le drainage s'annule à moins que n'advienne une pluie exceptionnelle (comme en 1973). En année humide (1076 mm tous les 10 ans) le ruissellement augmente mais l'ETP diminue en saison humide si bien qu'en définitive le drainage sur sol perméable peut atteindre 200 à 400 mm du fait de la concentration des pluies utiles sur 2 mois.

### 4.3. Conclusions pratiques.

Tant que les précipitations ne dépassent pas 850 mm, les risques d'entraînement des éléments nutritifs par les eaux de drainage sont très limités. Il faut cependant tenir compte de la faible capacité d'échange en cations des sols ferrugineux et des risques de drainage en année humide.

Il semble que les forts coefficients de ruissellement observés sur les sols ferrugineux proviennent de la faible perméabilité de ces sols (en particulier certains niveaux cuirassés) et surtout des pellicules de battance qui se développent dès que le sol est peu couvert par les végétaux, pauvres en matières organiques et riches en limons et sables fins.

Or, si on aménage le territoire en vue de favoriser une infiltration totale des pluies (labour et billonnage en courbes de niveau) cette eau disponible peut augmenter l'ETR (et la croissance des plantes) ou au contraire le drainage (et les risques de lixiviation) si le sol n'est pas suffisamment couvert. En même temps que les aménagements antiérosifs, il faut donc prévoir une intensification de l'exploitation comportant des plantations hâtives et denses et une fertilisation adéquate, si on ne veut pas voir disparaître dans la nappe les eaux que l'on voulait retenir pour favoriser la croissance des cultures. Il est vrai que les eaux de nappe peuvent être récupérées dans les bas fonds si on les aménage en rizières (irriguées ou de nappe).

Dans un plan d'aménagement du terroir, les sols gravillonnaires et les sols à carapace trop superficielle (moins de 50 cm) doivent être écartés de la surface exploitable pour les plantes annuelles (à cycle de 4 mois) étant donnée la faiblesse de la réserve hydrique du sol qui augmente les risques de stress hydrique.

Par contre, sur ces sols gravillonnaires, la productivité de la jachère à Andropogon est assez élevée (3 à 9 t/ha/an de Mat. sèche) et permet un pâturage relativement intensif en saison des pluies moyennant des apports minéraux pour compenser les exportations. Cependant il nous semblerait plus judicieux d'y développer une culture forestière ou mieux fruitière, à condition de planter les arbres à bon écartement, dans des trous traversant la cuirasse.

En effet, la main - d'oeuvre abonde en saison sèche, le soleil est présent en toutes saisons et le sol reste à capacité au champ toute l'année sous la cuirasse tandis que la nappe n'est guère éloignée. D'ailleurs, le paysage est piqueté de grands arbres (Karbonate, Nere, Manguier, Raisinier, etc...) qui ont trouvé un passage, une crevace pour chercher l'eau sous la cuirasse.



## CHAPITRE 5. SCHEMA DE BILAN GEOCHIMIQUE.

C'est l'un des principaux intérêts de la méthode globale d'étude de l'évolution actuelle des sols, utilisée à SARIA comme dans l'ensemble du réseau O.R.S.T.O.M., que de montrer, en quelques années, l'orientation de la dynamique des sols soumis à différents traitements. Dans ce chapitre, nous tenterons de chiffrer, ne fuisse que grossièrement, l'importance des différents postes intervenant dans le bilan des migrations sous savane et sous culture. Nous considérerons successivement les apports (les pluies et les engrais), les pertes (érosion, drainage, exportation) et l'immobilisation dans le sol et la végétation.

### 5.1. Les éléments du bilan.

Nous passerons en revue les éléments dont nous disposons sous sol nu, sous une savane et sous une culture de sorgho de la région de SARIA.

#### 5.1.1. Les apports par les engrais.

Aucun apport d'engrais n'a été réalisé sur parcelle nue ni sur jachère. Par contre sous culture de sorgho ont été répandus 100 kg de phosphate d'ammoniaque, 120 kg de sulfate de potasse et 150 kg d'urée à l'hectare, soit 97 unités d'azote, 22 unités de phosphore, 50 unités de potassium et 12 kg/ha de soufre.

#### 5.1.2. Les apports par les pluies.

De 1972 à 1974 les eaux <sup>\*</sup> provenant d'une pluie ou plusieurs pluies regroupées furent recueillies dans des bacs en plastique à ciel ouvert (PSO = 29 échantillons), sous les herbes (PSH = 27 échantillons), sous un karité (PSK = 10 échantillons) et sous un Nere (PSN = 5 échantillons).

Note <sup>\*</sup> Les eaux de pluie furent filtrées, stabilisées au PHBM et stockées à l'abri de la lumière et des fortes chaleurs en laboratoire dans les 6 heures qui suivent la fin de la pluie.

Tableau 15. Résultats analytiques des eaux de pluie récoltées à SARIA (1972-74) à ciel ouvert (PSO), sous Andropogon (PSH), sous Karité (PSK) et NERE (PSN). Teneurs en ppm des moyennes pondérées par le volume de pluie.

	Ciel ouvert PSO			Sous herbage PSH			Sous karité PSK			Sous NERE PSN	ABIDJAN
	72/73	74	moyenne	72/73	74	moyenne	73 *	74	moyenne	1974	Ciel ouvert 70-72
Volume (mm)	1126	423	1549	1026	419	1445	481	467	948	393	-
Nombre échant.	23	6	29	21	6	27	3	7	10	5	-
Résistivité ohms.cm	-	91.763	-	-	75.856	-	-	19.889	-	51.710	-
Ca	2,25	1,87	2,14	2,90	1,90	2,61	3,85	5,96	4,89	1,98	1,90
Mg	0,40	0,09	0,31	0,53	0,04	0,39	1,22	1,11	1,17	0,27	0,45
K	0,48	0,15	0,39	1,48	0,64	1,24	4,27	10,04	7,11	2,50	0,25
Na	0,12	0,12	0,12	0,13	0,16	0,14	0,18	0,36	0,27	0,11	0,96
C	1,20	1,58	1,30	4,90	1,42	3,89	3,91	15,65	9,69	4,82	1,50
N Total	0,69	0,47	0,63	0,56	0,72	0,61	0,47	1,30	0,88	0,99	1,34
PO <sub>4</sub>	0,97	0,25	0,77	1,55	0,15	1,14	0,27	0,60	0,43	0,77	0,45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	0,02	0,03	0,13	0,03	0,10	0,05	0,32	0,18	0,04	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	0,03	0,04	0,09	0,01	0,07	0,07	0,10	0,08	0,02	-
SiO <sub>2</sub>	0,82	0,18	0,64	0,94	0,40	0,78	0,97	0,73	0,85	0,23	-
SO <sub>4</sub>	1,32	2,24	1,57	1,68	1,72	1,69	1,18	2,54	1,85	1,96	1,50
Cl	0,33	0,29	0,32	0,62	0,41	0,56	1,11	3,38	2,23	0,76	3,14

\* Moyenne du 1/7 au 15/9/73.

Les résultats des analyses effectuées au Centre O.R.S.T.O.M. D'ADIOPODOUME sont exprimés en ppm sous forme de moyennes pondérées en fonction de la hauteur des pluies prélevées (tabl. 15). De ces analyses, il ressort que la charge soluble des eaux de pluie est très faible à ciel ouvert (résistivité voisine de 100.000 ohms.cm) mais qu'elle varie au cours de la saison et du couvert végétal rencontré (résistivité variant de 8 à 2. 10<sub>4</sub> ohm.cm sous couvert). En début de saison des pluies, l'air est chargé de poussières (feux de brousse) et les teneurs sont élevées. En juillet et août, les teneurs diminuent sérieusement (souvent <sup>1</sup>/10 des teneurs initiales) après quoi elles ont tendance à augmenter durant les dernières pluies. Cependant, il existe des interférences entre cette tendance générale et les influences provenant du couvert végétal et de l'abondance des pluies.

Le pluviollessivage est variable en fonction du type de couvert et des éléments analysés (comparer les valeurs observées en 1974 du tableau 15).

- : forte augmentation sous tous les couverts des chlorures (2 à 11 fois) et surtout du potassium (4 à 66 fois),
- : augmentation sous couvert arboré seulement du carbone, de l'azote et du magnésium ;
- : augmentation nette sous karité seulement du calcium, sodium et de la silice ;
- : pas d'influence nette sur PO<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>.

Si on multiplie les teneurs moyennes (1972 - 74) par le volume des précipitations moyennes observées à SARIA, on obtient les valeurs moyennes d'apports en kg/ha/an.

Tableau 16. Comparaison des teneurs et des apports par les pluies à SARIA (CENTRE HAUTE-VOLTA) et près d'ABIDJAN (BASSE COTE IVOIRE).

	Ca	Mg	K	Na	C	N Tot.	PO <sub>4</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl
Teneurs en ppm												
SARIA (72-74)	2,14	0,31	0,39	0,12	1,3	0,63	0,77	0,03	0,04	0,64	1,57	0,32
ADIOPODOUME (70-72)	1,90	0,45	0,25	0,96	1,5	1,34	0,45	-	-	-	1,50	3,14
Apports kg/ha/an												
SARIA 860 mm	18,4	2,7	3,4	1,0	11,2	5,4	6,6	0,3	0,3	5,5	13,5	3,14
ADIOP. 2100 mm	39,9	9,5	5,3	20,2	31,5	28,1	9,4	-	-	-	31,5	65,9

Les eaux de pluies recueillies à près de 1000 km de l'océan (SARIA) sont finalement assez voisines de celles qui ont été observés à moins de 12 km de la Côte Ivoirienne (ADIPODOUME), à part l'azote, les phosphates et surtout le sodium et les chlorures apportés par les embruns marins (ROOSE, 1974). Les apports en zone sèche sont évidemment plus faibles qu'en zone tropicale humide mais ne sont pas tout à fait négligeables en ce qui concerne le calcium, les sulfates, les phosphates, l'azote et le potassium (environ 5 % de la fumure moyenne conseillée sur sorgho).

Il est difficile d'évaluer la fraction des pluies interceptée par le couvert (environ 1 mm par pluie sous *Andropogon* et beaucoup plus sous les arbres) et donc de quantifier le pluiolessivage (cycle interne au modèle). Il est cependant évident que le pluiolessivage permet un recyclage rapide du carbone, de l'azote, du magnésium et surtout du calcium et du potassium par lavage des feuilles.

### 5.1.3. Composition des solutions (ruissellement, drainage, nappe).

De 1971 à 74, 400 échantillons d'eau (dont 200 de drainage, 25 de nappe et 103 de ruissellement) ont été analysés au laboratoire Central de l'O.R.S.T.O.M. à ADIPODOUME. Les résultats ont été regroupés aux tableaux 16, 17 et 18 qui donnent les moyennes des teneurs (en ppm) pondérées par les volumes écoulés et les domaines de variation pour l'ensemble des observations. Les méthodes analytiques ont été décrites par NALOVIC (1968) puis par GOUZY (1974). Les délais d'analyse sont variables (2 à 3 mois) mais n'entraînent pas d'évolution notable des caractéristiques chimiques discutées à condition de respecter certaines règles (transport en flacons plastiques pleins à ras bord, parfaitement bouchés et conservés à l'abri de la lumière).

Aux tableaux 17 et 18, il apparait que :

- les eaux de drainage et surtout de nappe et de ruissellement sont très peu chargés en solubles,
- les teneurs en  $PO_4$  - bases et azote sont à peine plus élevées sous une culture de sorgho moyennement fertilisée que dans le milieu naturel savanicole ;
- les eaux de nappe sont beaucoup plus riches en silice (30 ppm dans les nappes, 15 ppm dans le drainage, 2 ppm dans le ruissellement, 0,9 ppm de  $SiO_2$  dans les eaux de pluie) mais plus pauvres en matières organiques azote total.

En comparant les teneurs moyennes annuelles (voir rapports précédents) on constate une diminution générale des concentrations en solubles sauf pour  $SO_4$ , Cl et les matières organiques sous culture fertilisée : on peut voir là une lente évolution du stock du sol.

La température des eaux (21 à 29° C) est plus fraîche sous le couvert d'une savane arborée que sous culture et à fortiori sous une parcelle nue ; elle augmente depuis la pluie jusqu'aux eaux de drainage profond. Elle diminue lors des plus grosses averses, en même temps que la température de l'air ambiant.

Le pH des eaux (5 à 7,8) est généralement peu acide ; cependant des mesures effectuées sur le terrain au pH mètre à piles ont donné des valeurs systématiquement plus faibles de 1 à 1,5 unités pH.

La résistivité est nettement plus élevée dans les eaux de ruissellement (2 à 60.000 ohms.cm) que dans les eaux de drainage (1 à 25.000 ohms.cm) ; elle augmente au coeur de la saison des pluies et lorsque le volume écoulé est important (effet dilution). Elle est plus faible sous sorgho fertilisé que sous jachère et dans les eaux circulant sur le sol gravillonnaire (Protection) qu'en parcelle P7. Ces eaux circulant en milieu savanicole et sous culture de sorgho moyennement fertilisée sont donc peu chargées et les risques de lixiviation sont limités sauf en cas de fertilisation dépassant largement les besoins des plantes et sur sol gravillonnaire (drainage plus élevé)

Le Calcium des eaux de ruissellement (1 à 8 ppm) est moins abondant que dans les eaux de drainage (1 à 20 ppm). Il est légèrement plus abondant sous sorgho fertilisé que sous jeune jachère mais atteint des valeurs considérables sous la vieille jachère du sol gravillonnaire de la parcelle de Protection (jusqu'à 55 ppm !) : le calcium est donc susceptible et migrer en solution.

Les Teneurs en magnésium sont moins importantes (Mg mp = 0,5 à 6 ppm) mais suivent les mêmes variations que le calcium en fonction du sol et du niveau d'écoulement.

Le potassium en solution varie beaucoup en fonction des volumes écoulés : il est nettement plus abondant sous sorgho fertilisé que sous jachère, en Protection qu'en P<sub>7</sub> et dans les eaux de drainage que

sous les eaux de ruissellement. En milieu tropical dans les sols à dominance d'argile kaolinitique, le potassium migre beaucoup plus facilement qu'en région tempérée où il est retenu dans le réseau argileux (type 2/1).

Les teneurs en sodium augmentent régulièrement avec la profondeur des écoulements depuis les pluies jusqu'aux eaux de nappe (Na mp = 0,1 pour les pluies - 0,5 pour le ruissellement - 4 à 5 ppm dans le drainage et 6 ppm dans la nappe). L'usage d'engrais semble chasser le Na du complexe absorbant vers les solutions du sol. Les teneurs observées dans les eaux de drainage oblique sont très voisines de celles des eaux de ruissellement (pollution ou circulation préférentielle par des fissures ou des mégapores d'origine biologique ?).

Les teneurs en bases observées dans les eaux de la savane de GONSE sont très voisines de celles de la jachère en P<sub>7</sub> (ROOSE, 1978).

La teneur en carbone en solution dans les eaux de surface de SARIA est faible (1 à 4 ppm) et baisse avec la profondeur et lors des forts écoulements de la fin de saison des pluies. Elle est légèrement plus élevée dans la parcelle Protection et sous culture de sorgho que dans la jeune jachère de la parcelle 7.

L'azote totale est particulièrement peu abondante (mp de 1,1 à 2,8 ppm) dans les eaux recueillies sous les jachères de SARIA ; très mobile, l'azote est nettement plus abondante dans les eaux de drainage (7,8 ppm) sous sorgho fertilisé (P<sub>7</sub>). Les teneurs en azote et carbone des eaux de surface sont encore plus faibles à SARIA (jachère) qu'à GONSE (savane arborescente).

Les teneurs en phosphate sont extrêmement faibles (mp = 0,1 à 1,9 ppm) surtout dans les eaux de drainage. La migration du phosphate est liée à celle des particules fines (et donc au recouvrement du sol par le couvert végétal) plutôt qu'à l'usage (très modeste) d'engrais phosphatés.

Les teneurs en fer soluble dans les eaux de drainage sont encore plus faibles que dans les eaux de ruissellement (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mp = 0,1 à 0,4 ppm) ; il semble qu'elles diminuent parallèlement à la charge en particules solides à mesure que le couvert végétal protège mieux la surface du sol.

L'alumine est encore moins abondante dans les eaux de surface de SARIA mais suit le même mode de variations que le fer et les phosphates.

Tableau 17. Moyennes pondérées des teneurs (en ppm) en solubles des eaux de Ruissellement et de Drainage en fonction des traitements (SARIA 1971-74).

Ruissellement	Cl	SO <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub>	Ca	Mg	K	Na	M. Org.	N Total	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Sol nu P <sub>7</sub>	3,28	10,33	1,07	2,85	0,64	1,15	0,30	2,36	1,56	2,95	0,32	0,74
Sorgho P <sub>7</sub>	4,31	11,14	1,89	4,04	1,17	4,11	0,47	2,57	1,69	2,43	0,49	0,52
Jachère jeune P <sub>7</sub>	0,75	2,14	0,91	2,32	0,47	1,14	0,38	2,49	1,11	1,06	0,15	0,05
Jach. vieille Prot.	0,88	2,04	1,45	3,32	0,73	2,41	0,45	4,72	1,47	0,90	0,21	0,01
Influence	Jach.	Jach.	Engrais	Engrais	Engrais	Engrais	N.S	N.S	N.S	Jach.	Jach.	Jach.
Drainage	Cl	SO <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub>	Ca	Mg	K	Na	M. Org.	N. Total	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Sorgho P <sub>7</sub>	1,91	2,04	0,08	12,66	3,24	3,06	5,39	1,45	7,71	15,0	0,03	0,04
Jachère P <sub>7</sub>	2,27	3,36	0,13	7,84	2,39	2,86	4,70	1,13	1,87	16,3	0,07	0,11
Jach. Prot.	2,29	1,81	0,10	31,02	6,32	4,87	1,90	1,80	2,83	14,3	0,05	0,03
Sorgho Prot.	3,02	3,00	0,21	19,98	5,03	5,96	4,62	1,86	2,93	11,7	0,08	0,10
Influence	N.S	N.S	N.S	Sol	Sol	Engrais	Engrais	N.S	Engrais	≠ Sol	N.S	N.S

Tableau 18. Caractéristiques des eaux de ruissellement et de drainage.  
 Jachère jeune et sorgho fertilisé en parcelle P7.  
 SARIA - P7 - 1971 à 74.

	Teneur pondérée (mgr/l)			Valeurs fréquentes (mgr/l)			Variation totale
	Ruiss.	Drainage h. supérieur	Nappe **	Ruiss.	Drain. hor. sup.	Nappe	
T°	-	-	-	22 à 25°	22 à 27°C		20 à 29°
pH (Jach. Sorgho)	6,4 * 6,2 *	6,5 * 7,2 *	6,9	5 à 7	5,5 à 7,5	6,5 à 7,3	5,0 à 7,8
Résist. (J (S)	76.540 * 40.130 *	24.740 * 10.950 *	21.850	4 à 60.000 2 à 30.000	2 à 21.000 1 à 18.000	20 à 24.000	1000 à 18.000
Ca (J (S)	2,32 4,04	7,7 12,7	3,4	1 à 4 2 à 8	1,5 à 14 8 à 20	3 à 4,2	1 à 25
Mg (J (S)	0,47 1,17	2,4 3,2	0,6	0 à 2 0,1 à 3	0,1 à 9 1 à 10	0,4 à 0,7	0,1 à 15
K (J (S)	1,14 4,11	2,9 3,1	1,3	0,5 à 2 0,8 à 10	0,6 à 4 1,3 à 5	1 à 1,5	0,5 à 20
Na (J (S)	0,38 0,47	4,7 5,4	6,0	0,01 à 0,5 0,1 à 1	0,4 à 11 2,6 à 11	5,9 à 6,2	0,01 à 15
M.O. (J (S)	2,49 2,57	1,1 1,5	0,7	1,5 à 4 1,2 à 5	0,1 à 2,8 0,3 à 3	0,2 à 1,4	0,1 à 8
N.Tot. (J (S)	1,11 1,69	1,9 7,8	1,34	0,3 à 2,5 0,5 à 3	0,2 à 5 0,2 à 15	0,4 à 2	0,2 à 20
PO <sub>4</sub> (J (S)	0,91 1,89	0,13 0,08	0,15	0,2 à 2,5 0,3 à 3,5	0,1 à 0,6 0 à 0,5	0,05 à 0,25	0,01 à 5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (J (S)	0,15 0,49	0,07 0,03	0,15	0,01 à 0,6 0,01 à 2,5	0 à 0,3 0 à 0,2	0,02 à 0,6	0,01 à 3,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (J (S)	0,05 0,52	0,11 0,04	0,01	0 à 0,15 0,1 à 1	0 à 0,4 0,1 à 0,2	0,01 à 0,06	0 à 1,5
SiO <sub>2</sub> (J (S)	1,06 2,43	16,3 15,0	35,6	0,5 à 2,5 1 à 4	10 à 21 9 à 20	30 à 37	0,5 à 23
SO <sub>4</sub> (J (S)	2,14 11,14	3,4 2,0	1,6	1 à 5 3 à 18	0,3 à 6 0,7 à 5	0,6 à 3,7	0,3 à 40
Cl (J (S)	0,75 4,31	3,4 1,9	1,9	0,1 à 1,5 0,5 à 5	0,5 à 4,5 0,5 à 4	1,5 à 2,5	0,1 à 35
CO <sub>3</sub> H			27,9			25 à 31	

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

\* Mp 1974. \*\* Pompage d'octobre 1974 à mars 1975.

Tableau 19. Caractéristiques des eaux de ruissellement et de drainage.

Jachère vieille et Sorgho fertilisé sur sol gravillonnaire.

SARIA. Protection - 1971 - 74.

	Teneur pondérée (mgr/l)		Valeurs fréquentes (mgr/l)			Variation totale
	Ruiss.	Drainage h. supérieur	Ruiss.	Drain. hor. sup.		
T°	-		23 à 26°C	23 à 28°C	-	22 à 29°C
pH (Jach.)	6,1 *	7,5 *	5 à 7	7,1 à 7,8	-	5,0 à 7,8
(Sorgho)	-	7,3 *		5,5 à 7,5	-	
Résist. (J)	36.100 *	6.620 *	1.500 à 40.000	3 à 18.000		1000 à 63.000
(S)	-	7.420 *	-	3 à 14.000		
Ca (J)	3,32	31,0	2 à 4	10 à 52		2 à 55
(S)	-	20,0	-	10 à 32		
Mg (J)	0,73	6,3	0,2 à 1	1,5 à 16		0,2 à 48
(S)	-	5,0	-	2 à 16		
K (J)	2,41	4,9	2 à 5	1 à 11		0,5 à 22
(S)	-	6,0	-	1 à 15		
Na (J)	0,45	1,9	0,1 à 1	1,2 à 2,5		0,1 à 27
(S)	-	4,6	-	1,4 à 13		
M.O. (J)	4,72	1,8	1,5 à 6	0,7 à 3,4		0,7 à 7
(S)	-	1,9	-	0,8 à 5		
N Tot. (J)	1,47	2,8	1, à 2,4	0,2 à 3		0,1 à 13
(S)	-	2,9	-	0,2 à 8		
N - NO <sub>3</sub>						
N - NH <sub>4</sub>						
PO <sub>4</sub> (J)	1,45	0,1	0,5 à 1,2	0 à 0,2		0 à 1,5
(S)	-	0,2	-	0 à 0,4		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (J)	0,11	0,05	0,01 à 0,2	0 à 0,2		0,01 à 0,3
(S)	-	0,08	-	0 à 0,3		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (J)	0,01	0,03	0,01	0 à 0,4		0,01 à 0,7
(S)	-	0,10	-	0 à 0,6		
SiO <sub>2</sub> (J)	0,90	14,3	0,5 à 2	11 à 18		0,5 à 20
(S)	-	11,7	-	9 à 17		
SO <sub>4</sub> (J)	2,04	1,8	1,5 à 3,5	0,7 à 5		0,1 à 46
(S)	-	3,0	-	0,1 à 8,5		
Cl (J)	0,88	2,3	0,2 à 1	0,3 à 8		0,2 à 28
(S)	-	3,0	-	1,7 à 11		

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

\* Moyenne pour 1974.

Tableau 20. Pertes en soluble (kg/ha/an) dans les eaux de ruissellement et de drainage de SARIA.

Estimation en année moyenne sur deux sols ferrugineux indurés sous jachère et sorgho fertilisé.

Ruissellement	Volume (mm)	Cl	SO <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub>	Ca	Mg	K	Na	C. Org.	N. total	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Sol ferrugineux carapace P <sub>7</sub>	Sol nu	332	10,89	34,29	3,55	9,46	2,12	3,82	1,00	7,84	5,18	9,79	1,06	2,46
	Sorgho fertilisé	208	8,96	23,17	3,93	8,40	2,43	8,55	0,98	5,35	3,52	5,05	1,02	1,08
	Jachère jeune	42	0,32	0,90	0,38	0,97	0,20	0,48	0,16	1,05	0,47	0,45	0,06	0,02
	Sorgho fertilisé *	(125)	5,39	13,93	2,36	5,05	1,46	5,14	0,59	3,22	2,22	3,04	0,61	0,65
Sol ferrugineux gravill. Prot.	Jachère vieille	25	0,22	0,51	0,36	0,83	0,18	0,60	0,11	1,18	0,37	0,23	0,05	0,01
Drainage														
Sol ferrugineux carapace P <sub>7</sub>	Sorgho fertilisé	21	0,40	0,43	0,02	2,66	0,68	0,64	1,13	0,30	1,62	3,15	0,01	0,01
	Jachère jeune	136	3,09	4,57	0,18	10,66	3,25	3,89	6,39	1,54	2,54	22,17	0,09	0,15
	Sorgho fertilisé	96	2,90	2,88	0,20	19,18	4,83	5,72	4,43	1,79	2,81	11,23	0,08	0,10
	Jachère vieille	168	3,85	3,04	0,17	52,11	10,62	8,18	3,19	3,02	4,75	24,02	0,08	0,05

\* N'ayant pas de parcelle d'érosion sous culture en parcelle de Protection, nous avons retenu un ruissellement de l'ordre de 15 % pour des précipitations de 830 mm et des teneurs semblables à celles observées sous sorgho en P<sub>7</sub>.

La teneur en silice soluble augmente avec la profondeur des écoulements depuis la pluie (mp = 0,6 - 0,8 ppm), le ruissellement (mp = 1 à 2 ppm), le drainage (mp = 12 à 16 ppm) jusqu'à l'eau de nappe (mp = 36 ppm). Les eaux de drainage oblique sont souvent plus proches des eaux de ruissellement que de drainage (mélange ou circulation rapide dans les fentes ?). Les teneurs en silice des eaux de ruissellement sont compatibles avec le domaine de solubilisation du quartz ( $\text{SiO}_2$  inférieure à 6 ppm) mais peuvent descendre en dessous de 1 ppm ; il serait donc possible d'admettre la destruction d'une faible quantité d'argile mais l'origine principale de la silice dissoute est la dissolution des quartz et de la silice libérée par la minéralisation des litières (feu annuel ou activité microbiologique). Dans les eaux de drainage et surtout les eaux de nappe intervient en outre l'altération des minéraux.

Notons enfin que les eaux de ruissellement recueillies sous sorgho fertilisé ( $\text{P}_7$ ) sont nettement plus riches en silice que le ruissellement provenant des parcelles en jachère non brûlée de SARIA mais plus pauvre que le ruissellement recueilli à GONSE sous savane brûlée (mp = 3,9 ppm).

Les eaux de SARIA sont pauvres en sulfate (mp = 2 à 3,4 ppm) sauf le ruissellement recueilli sous la parcelle de sorgho fertilisé (11 ppm) ; sous cette même parcelle les sulfates ont tendance à augmenter au cours des années dans les eaux de drainage.

Les teneurs en chlorures (Mp = 0,7 à 2,3 ppm) sont faibles quoique un peu plus élevées qu'à GONSE ; le drainage est légèrement plus chargé en chlorure que le ruissellement sauf sur la parcelle fertilisée cultivée en sorgho. Les sulfates, chlorures et nitrates sont généralement de très bons indicateurs de l'usage d'engrais.

En conclusion, les eaux superficielles recueillies à SARIA sont aussi peu chargées que celles qui furent observées sous la savane de GONSE : la mise en culture avec usage modéré d'engrais n'a augmenté que très légèrement les teneurs en azote et en bases. Les risques de lixiviation sont donc proportionnels aux volumes drainés et ruisselés.

#### 5.1.4. Les pertes en solubles dans les eaux de drainage. (voir tabl. 20)

Nous ne considérerons que les teneurs moyennes (tableaux 19 et 18) et les volumes moyens observables en année moyenne sous deux végétations (jachère et culture) et sur deux types de sols ferrugineux tropicaux indurés.

Le tableau 20 montre bien que les pertes par lixiviation sont faibles ; elles dépendent surtout du volume drainé et donc du ruissellement mesuré sur des parcelles à côté des lysimètres. Ainsi, les pertes en solubles dans les eaux de drainage sont plus faibles sous sorgho que sous jachère : par contre, les pertes par ruissellement seront plus fortes sous sorgho (ruissellement 15 et 20 % (sous sorgho) contre 3 et 5 % (sous jachère). Les pertes par drainage sur sol gravillonnaire sont nettement plus fortes qu'en parcelle 7 car la réserve hydrique du sol y est plus faible et le drainage plus abondant.

La lixiviation en fer, alumine et phosphate est négligeable (0,2 kg). La lixiviation en chlorure, sulfate et carbone est très faible (0,4 à 4 kg). Les pertes en N total (1 à 5 kg/ha/an) potassium (0,6 à 8 kg), sodium et magnésium (1 à 10 kg/ha/an) sont un peu plus élevées. Les raisons de la mauvaise fixation du calcium sur le complexe ne sont pas évidentes puisque la capacité d'échange est loin d'être saturée. Ces pertes en calcium (et dans un moindre mesure en magnésium) sont surtout abondantes sur le sol gravillonnaire mais se retrouvent également dans nos essais sur sols ferrallitiques où les teneurs en lixiviation des bases est à rapprocher de l'usage intensif d'engrais acides concentrés et des fumures azotées. Lixiviation en calcium et exportation des pailles entraînent forcément une acidification du milieu qu'il n'est pas toujours facile de corriger dans des conditions économiques.

#### 5.1.5. Composition physique et chimique des terres érodées.

Nous avons résumé au tableau 21 les résultats analytiques des terres érodées (terre de fond et suspension) de 1971 à 74 : voir aussi les tableaux 45.1 à 45.4 dans le rapport 1971-73.

Sans entrer dans le détail signalons que de 1971 à 74 :

- les teneurs en argile + limon fin (0 à 20 microns) ont baissé tandis que les sables augmentent dans les terres érodées ;
  - les teneurs en C - N bases échangeables (surtout K et Na) ont tendance à baisser sur sol nu ;
  - les bases totales restent à peu près stables ;
  - sous culture la baisse de C - N - P - K et Ca échangeables est beaucoup moins nette que sur sol nu (influence de la fertilisation !).
- Mais en définitive, les teneurs varient beaucoup moins que les pertes en terre en fonction des traitements et des années.

Si nous comparons (tableau 21) la composition des terres érodées sous différents traitements, nous observons que :

- les terres érodées sur sol nu et sous sorgho fertilisé sont très voisines de composition bien que les teneurs en C - N - P - K et Ca échangeables soient un peu plus élevées sous culture ;
- les terres érodées sous la jachère jeune sont les plus pauvres ;
- les terres érodées sous les jachères sont nettement plus riches en sables fins et grossiers que sous les autres parcelles ; ceci constitue un indice d'apport accidentel de sable par effet splash ou par écoulement le long des bordures, accident d'autant plus sensible que l'érosion est faible sous le couvert quasi complet de ces jachères.

#### 5.1.6. Les pertes par érosion.

Au tableau 22 figurent les pertes en éléments entraînés sous forme solide dans les terres érodées (terre de fond + suspensions) et sous forme soluble dans les eaux de ruissellement.

Sous les jachères, les pertes par érosion sont extrêmement faibles ; par contre sous culture et sol nu, les pertes en éléments par érosion ne sont pas négligeables étant donnée la masse de terre et d'eau en mouvement.

Ainsi sous une culture de sorgho billonnée dans le sens de la pente (< 1 %) et moyennement fertilisée, les pertes par érosion se sont élevées à 267 kg de matières organiques (C X 1,723), 15 kg d'azote - 3,8 kg de phosphore - 14,5 kg de calcium - 9,4 kg de magnésium et 47 kg de potassium ; ces pertes représentent environ 2 % des matières stockées dans les 10 premiers centimètres du sol.

Tableau 21. Composition chimique et physique des terres érodées à SARIA (1971-74).

	Protection Vieille jachère			P <sub>7</sub> Jachère jeune			P <sub>7</sub> Culture sorgho			P <sub>7</sub> Sol nu travaillé		
	Terre de fond	Suspen- sion	Total	T. de f.	susp.	Total	T. de f.	susp.	Total	T. de f.	Susp.	Total
C %	24,7	69,7	38,0	9,1	42,5	16,7	7,1	26,7	20,5	4,1	16,0	12,7
N "	1,63	4,37	2,44	0,43	3,18	1,06	0,54	2,06	1,58	0,29	1,27	1,00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total "	0,91	0,92	0,91	0,15	0,95	0,33	0,28	1,02	0,79	0,14	0,48	0,39
Ca éch. (mé %)	6,99	9,28	7,67	1,81	1,90	1,83	1,97	2,94	2,64	1,29	1,90	1,73
Mg " "	2,35	2,75	2,47	0,41	0,55	0,44	0,47	1,22	0,98	0,36	0,72	0,62
K " "	0,54	0,63	0,57	0,15	0,34	0,19	0,23	0,49	0,41	0,10	0,15	0,14
Na " "	0,05	0,06	0,05	0,02	0,07	0,03	0,02	0,05	0,04	0,01	0,02	0,01
Ca total (mé %)	11,4	17,6	12,6	3,65	5,43	4,06	2,75	4,84	4,18	1,91	3,40	2,99 <sup>1</sup>
Mg " "	6,71	9,80	7,62	1,52	9,61	3,37	2,15	10,46	7,85	1,77	8,45	6,61 <sup>2</sup>
K " "	11,10	12,06	11,38	4,55	11,48	6,13	7,21	16,27	13,42	6,59	14,87	12,59 <sup>1</sup>
Na " "	2,62	3,19	2,79	0,96	3,18	1,47	1,37	3,43	2,78	1,33	3,08	2,60
SiO <sub>2</sub> triacide %	10,0	20,2	13,0	4,4	19,7	7,9	5,2	23,7	17,9	5,61	17,2	14,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> "	7,43	17,35	10,37	2,66	16,60	5,86	3,41	19,50	14,45	3,40	13,92	11,02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> "	4,58	4,90	4,67	1,83	3,12	2,12	1,50	4,06	3,26	1,48	3,24	2,75
Argile %	12,1	34,2	18,6	4,7	38,9	12,5	7,9	48,8	36,0	11,6	37,1	30,1
Limon fin "	10,3	29,2	16,0	3,1	18,5	6,6	6,8	30,2	22,9	6,3	28,5	22,4
Limon grossier "	18,7	15,9	17,9	16,4	17,7	16,7	19,6	14,2	15,9	18,1	27,3	24,8
Sable fin "	21,5	9,0	17,8	21,7	10,8	19,2	22,7	2,7	9,0	20,0	5,0	9,1
Sable grossier "	34,1	3,1	24,9	53,9	10,8	44,0	43,0	0,9	14,1	43,7	0,7	12,6

Tableau 22. Pertes par érosion à SARIA (1971 - 74). -(en kg/ha/an)-

	Protection Vieille jachère			P <sub>7</sub> Jeune jachère			P <sub>7</sub> Sorgho fertilisé			P <sub>7</sub> Sol nu travaillé		
	Erosion solide 170 kg (1)	Ruissell. 25 mm 2	Total (1+2) 3	Erosion solide 510 kg 4	Ruiss. 42 mm 5	Total (4+5) 6	Erosion solide 7.300 kg 7	Ruiss. 208 mm 8	Total (7+8) 9	Erosion solide 25.000 kg 10	Ruiss. 332 mm 11	Total (10+11) 12
C	6,46	1,18	7,64	8,52	1,05	9,57	149,65	5,35	155,00	317,50	7,84	325,34
N	0,41	0,37	0,78	0,54	0,47	1,01	11,53	3,52	15,05	25,00	5,18	30,18
P	0,07	0,12	0,19	0,17	0,12	0,29	2,52	1,28	3,80	9,75	1,16	10,91
Ca échangeable	0,26	0,83	1,09	0,19	0,97	1,16	3,85	8,40	12,25	8,65	9,46	18,11
Mg "	0,05	0,18	0,23	0,03	0,20	0,23	0,87	2,43	3,30	1,88	2,12	4,00
K "	0,04	0,60	0,64	0,04	0,48	0,52	1,17	8,55	9,72	1,37	3,82	5,19
Na "	0,002	0,11	0,11	0,003	0,16	0,16	0,07	0,98	1,05	0,06	1	1,06
Ca total	0,43	0,83	1,26	0,41	0,97	1,38	6,10	8,40	14,50	14,95	9,46	24,41
Mg "	0,16	0,18	0,34	0,21	0,20	0,41	6,93	2,43	9,36	20,00	2,12	22,12
K "	0,75	0,60	1,35	1,22	0,48	1,70	38,21	8,55	46,76	122,75	3,82	126,57
Na "	0,11	0,11	0,22	0,17	0,16	0,33	5,47	0,98	6,45	14,95	1	15,95
SiO <sub>2</sub> combinée	22,10	0,23	22,33	40,29	0,45	40,74	1.306,7	5,05	1311,75	3505	9,79	3514,79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> "	17,63	0,01	17,64	29,89	0,02	29,91	1.054,9	1,08	1055,98	2755	2,46	2757,46
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> total	7,94	0,05	7,99	10,81	0,06	10,87	238,0	1,02	239,02	687,5	1,06	688,56

Les bases échangeables et le phosphore assimilable sont peu abondants dans les terres érodées ; cependant l'érosion étant un phénomène important à moyen terme (5 à 10 ans), il faut tenir compte des pertes en bases et phosphore total qui constituent une réserve liée principalement aux particules fines.

Les pertes en silice, alumine et fer sont proportionnelles aux taux d'argile entraînée : elles sont donc faibles sous jachère mais très fortes sous culture et sol nu. Sur ces paysages, la migration d'une bonne part de la silice, de l'alumine et du fer est donc liée à des mouvements de particules fines à la surface du sol.

Les pertes par érosion enregistrées à GONSE sous savane (ROOSE, 1978) et à GAMPELA sous culture (CTFT, 1972) sont très voisines de celles observées à SARIA.

#### 5.1.7. Immobilisation temporaire dans les végétaux.

Il serait intéressant d'analyser les interventions de la végétation dans le bilan :

- apports : les remontées biologiques des éléments puisés en profondeur par les racines et fixation d'azote atmosphérique par les légumineuses et divers microorganismes du sol.
- stockage : immobilisation dans les parties pérennes (bois, souches, certaines racines).
- pertes : exportation par les récoltes (grains et pailles) ou par les feux de brousse ;
- cycles internes : pluviollessivage, chute des feuilles, recyclage des litières et minéralisation de l'humus.

Nous ne disposons malheureusement que des mesures de production de pailles (sorgho et jachères) et de grains.

Pour évaluer la production de pailles des jachères (tiges + feuilles) nous avons fauché 3 à 6 placeaux de 4 m<sup>2</sup> en pleine saison sèche.

Le poids de matières sèches augmente de 2 à 4 t/ha/an durant les 3 premières années de la jeune jachère et de 3,3 à 9,5 t/ha/an sur la jachère protégée depuis 30 ans (voir tableau 4.6.1. rapport 1974).

En mai 1974, nous avons exporté toutes les herbes des parcelles ERL0 (250 m<sup>2</sup>) ; les mesures sur ces grandes parcelles sont 25 % inférieures aux petits échantillons prélevés en dehors de l'influence des arbres.

De plus, on a observé la présence de 25 % environ de litière provenant des tiges restées sur pied depuis l'année précédente (\*).

\* Note : En zone tropicale humide, la litière disparaît totalement d'une année à l'autre.

Compte tenu de ces résultats, on peut estimer la production annuelle moyenne de matières sèches par les herbes à 2,7 t/ha/an dans le cas d'une jeune jachère (2 à 3 ans) et 5,1 t/ha pour la vieille jachère. Il faudrait encore ajouter les feuilles et branches mortes qui tombent des arbres (environ 70 kg de feuilles pour 1 karité adulte x 1 à 6 pieds/ha) pour avoir une idée de la productivité de ce plateau MOSSI. Quant à la productivité du sorgho, elle est très variable (0,2 à 3,5 t/ha de grains et 1 à 5 t/ha de pailles) en fonction des conditions climatiques, du sol et de la fertilisation. En profitant de conditions climatiques relativement bonnes (1974) on peut récolter plus de 2 tonnes de grains et 4,5 tonnes de pailles avec le type de techniques et la variété de sorgho utilisées.

Tableau 23. Analyse des grains, des pailles et des feuilles récoltées à SARIA. Valeurs moyennes (%) observées lors des campagnes 1971 à 74.

En P <sub>7</sub>	Cendres	N	P	K	Ca	Mg	SO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub> vég.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> vég.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> vég.
Jachère herbes	5,3	0,2	0,02	0,40	0,35	0,10	0,03	1,0	0,10	0,15
sorgho (pailles)	4,7	0,2	0,04	1,30	0,20	0,11	0,05	0,8	0,06	0,05
(grain)	1,5	2,0	0,32	0,34	0,01	0,16	0,04	0,2	0,2	0,2
Protection										
Jachère herbes	6,5	0,2	0,10	0,60	0,35	0,10	0,03	1,0	0,15	0,15
Karité feuilles	7,0	0,6	0,10	0,60	1,50	0,30	0,03	0,4	0,11	0,30
Sorgho (pailles)	4,0	0,2	0,04	1,10	0,15	0,12	0,05	0,7	0,09	0,04
(grain)	2,6	1,8	0,35	0,32	0,01	0,16	0,06	0,3	0,2	0,2

Au tableau 23, il apparaît que la composition des "tiges + feuilles" récoltées sur jachère et sur sorgho en saison sèche est assez homogène. Cependant les feuilles de karité sont plus riches en N - Ca - Mg et moins riches en silice végétale que les autres ; les pailles de sorgho sont particulièrement riches en potassium. Quelques différences (P - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) existent aussi en fonction du type de sol mais les variations interannuelles sont très importantes (date de prélèvement et mode de séparation des éclaboussures de sol sur les végétaux). Les grains sont riches en azote et phosphore mais moins riches en bases.

Tableau 24. Immobilisation minérale par des jachères et des cultures de sorgho sur deux sols ferrugineux tropicaux superficiels.

	N	P	K	Ca	Mg	SO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
P <sub>7</sub> : jeune jachère									
2,7 t/ha/an d'herbes	5,4	0,54	10,8	9,45	2,7	0,8	27,00	2,7	4,1
Prot. vieille jachère									
(5,1t/ha/an d'herbes	10,2	5,1	<u>30,6</u>	<u>17,9</u>	5,1	1,5	<u>51,00</u>	7,7	7,7
(0,3t/ de feuilles									
karité	1,8	0,3	1,8	4,5	0,9	0,1	1,2	0,3	0,9
P <sub>7</sub> : Sorgho									
(2t de grains	<u>40,0</u>	6,4	<u>6,8</u>	0,2	3,2	0,8	4,0	4,0	4,0
(4,5 t de tiges	<u>9,0</u>	1,8	<u>58,5</u>	<u>9,0</u>	5,0	2,3	<u>36,0</u>	2,7	2,3
Port.: Sorgho									
(0,7 t de grains	12,6	2,5	2,2	0,1	1,1	0,4	2,1	1,4	1,4
( 1 t de pailles	2,0	0,4	11,0	1,5	1,2	0,5	7,0	0,9	0,1

D'après le tableau 24 on peut conclure que les quantités d'éléments minéraux mobilisés par la jachère sont faibles (sauf K et Si), ce qui reflète bien la pauvreté du sol.

. Les conclusions sont semblables si la récolte est mauvaise (sol ou pluviosité déficients).

. Dans des conditions de pluviosité, de sol et de fertilisation moyennement favorables (P<sub>7</sub> en 1974), les immobilisations minérales restent modérées dans les grains (à part 40 kg d'azote) mais elle est plus élevée dans les pailles, ce qui pose le problème de l'utilisation des pailles, problème très ardu en pays MOSSI (utilisation artisanale et domestique très poussée).

Les feux de brousse annuels entraînent évidemment une minéralisation brutale des pailles de la savane. L'importance de cette minéralisation dépend de la vitesse et de l'époque à laquelle passe le feu : les feux précoces sont nettement moins destructeurs que les feux tardifs. En analysant les cendres recueillies après incinération rapide des échantillons de pailles récoltées sur les parcelles ERLO, nous avons constaté que près de 90 % du carbone s'est volatilisé mais qu'il reste encore 20 % de l'azote et du soufre mobilisés par les herbes. Quant aux éléments non volatilisables (cendre grise après le feu), ils sont partiellement dispersés puis redistribués par le vent et entraînés par le ruissellement lors des premiers orages ; une certaine fraction profite cependant à la végétation qui redémarre souvent avant les premières pluies.

### 5.1.8. Stockage des éléments dans le sol.

Le sol contient une grande réserve d'éléments plus ou moins mobili-sables (voir colonne II tabl. 25-24-26). Si on compare les stocks d'éléments échangeables contenus dans les horizons superficiels (30 cm) du sol gravillonnaire (Protection) à ceux du sol ferrugi-neux sur carapace vers 50 cm (Parcelle7), on constate que le sol gravillonnaire comporte un peu plus de C-N-P et  $Fe_2O_3$  et un peu moins de bases échangeables (drainage + abondant) compte tenu de la charge gravillonnaire (50 à 60 %) : la terre fine interstitiel-le est donc assez riche. Par rapport aux mêmes horizons sous la savane arborescente protégée de GONSE (ROOSE, 1978), le stock de  $P_7$  est plus pauvre en C-P et MG-Ca échangeable mais plus riche en K échangeable. Ces sols de savane sont pauvres en matières organi-ques (C,N) en raison de leur productivité relativement faible mais surtout des feux de brousse annuels.

Tableau 27. Comparaison des stocks sur 30 cm du sol ferrugineux sur carapace à 50 cm avant et après différents traitements (juin 1971, mars 1975)

	C	N	P		Ca		Mg		K	
			total	ass.	total	éch.	total	éch.	total	éch.
$P_7$ départ 71	18.840	1.578	416	20	(1.882)	1.063	2.351	294	(5.231)	148
$P_7$ jachère 75	14.545	1.130	280	40	1.555	1.071	2.968	319	13.945	129
$P_7$ culture 75	15.310	1.087	410	102	1.641	1.199	2.314	340	15.427	71
$P_7$ sol nu 75	13.205	1.124	268	40	1.641	1.142	2.653	313	13.242	110

Note : ( ) analyse pas sûre : fortes différences avec d'autres échantillons prélevés sur la même parcelle en 1971

La comparaison des stocks du sol (30 cm) de la parcelle 7 après 4 années de traitements radicalement différents est assez décevante : les différences sont peu significatives d'après l'analyse de ces échantillons composites. C'est à peine si le sol nu très érodé est un peu plus pauvre que la parcelle sous la jachère où la végétation a bien prospéré en 4 ans. La parcelle sous culture est légèrement plus riche en matières organiques, phosphore total et assimilable et potassium total mais plus pauvre en potassium échangeable. En réalité, l'analyse des bilans (tabl. 25 et 26) montre que les stocks sont largement supérieurs aux flux (apports - pertes) sauf dans le cas du phosphore assimilable et du potassium échangeable si l'on exporte les pailles de sorgho.

#### 5.1.9. Les remontées par les termites.

A SARIA, très rares sont les grandes termitières dont on sait que les matériaux sont puisés à plusieurs mètres de profondeur. Par contre un genre de termite moissonneuse (*Trinervitermes geminatus*) abonde, qui construit de nombreux petits nids cylindriques (Hmax = 50 cm ; diam.max = 66 cm) dans les jachères avec des matériaux puisés à faible profondeur (30 - 50 cm). En mélangeant la terre fine prélevée jusqu'à la base de l'horizon sablo argileux aux résidus plus ou moins digérés de la litière, ces termites déposent à la surface du sol des matériaux plus riches que le sol environnant. Après abandon des nids, ces éléments sont répandus à la surface du sol. Dans la vieille jachère de la parcelle de Protection, la croissance des termitières a dépassé 1200 kg/ha/an. Dans la jeune jachère de P<sub>7</sub>, les termitières se sont développées de façon croissante et sont passées de 0 en 1971 (après culture de mil ensilage) à 1480 kg/ha/ en mars 1975. (ROOSE, 1976).

On ne peut considérer ces matériaux apportés par les termites (400 kg/ha/an en jeune jachère et 1 200 kg en Protection) comme un apport net à la surface du profil mais plutôt comme un cycle interne au système eau-sol-plante qui recoupe les phénomènes de minéralisation de la litière. Ce cycle interne ne semble d'ailleurs pas très important d'autant plus qu'il alimente l'érosion sélective, ne laissant finalement en place qu'un résidu grossier riche en grains de quartz (voir tableaux 25-24-26 colonne 14).

Sous culture, les parties épigées des nids sont détruites par le labour mais pas toute la population de termites : celles-ci, faute de trouver une alimentation normale, s'attaquent aux pieds de maïs et de sorgho.

#### 5.2. Schéma de bilan géochimique sous jachère et sorgho.

Les données disponibles concernant les apports et les pertes, les stocks et certains flux internes au système "eau-sol-plante" ont été regroupés aux tableaux 24-25 et 26. Ces données sont encore incomplètes mais elles permettent une bonne vision globale de l'importance du rôle joué par les principaux facteurs de la dynamique actuelle de ces sols ferrugineux tropicaux.

Sous les jachères savaniques de SARIA, les apports sont certes plus faibles que sous la forêt dense humide (ROOSE, GODEFROY : 1977) mais les pertes par érosion et surtout par drainage y sont plus réduites également ; ceci est surtout vrai pour les sols qui ont une bonne réserve hydrique car sur les sols gravillonnaires perméables (ex. Protection) des pertes modérées en Ca-Mg et même K peuvent se produire par drainage en certaines circonstances. Au total, le bilan semble légèrement positif surtout si on considère les remontées biologiques (qui sont hélas difficiles à chiffrer directement). Cela se traduit donc sur les jachères protégées pendant quelques années par une augmentation très nette de la production végétale, par l'accumulation d'une litière de paille, par l'amélioration des propriétés physiques du sol (surtout l'infiltration grâce au développement de la mésofaune) et par une lente augmentation des réserves minérales facilement assimilables des horizons exploitables par les cultures. Cependant cette amélioration chimique n'a pas été décelée lors des analyses d'échantillons moyens après 4 années ce qui peut se comprendre étant donné que les flux sont faibles par rapport aux stocks. L'exploitation des pailles (pâturage ou utilisation domestiques et artisanales) et les feux de brousse annuels réduisent à néant l'espoir d'améliorer les faibles taux de carbone et d'azote, de phosphore assimilable et de bases échangeables de ces sols ferrugineux.

Sous sorgho moyennement fertilisé, la lixiviation par drainage est faible mais les pertes par érosion (7,3 t/ha/an de terre et 2.080 m<sup>3</sup> d'eau ruisselée) ne sont pas négligeables en ce qui concerne les matières organiques (257 kg), l'azote (12 kg) et surtout les bases (15 kg de Ca, 9 kg de Mg et 47 kg de K). Une fertilisation minérale modérée (90 unités d'azote et 22 unités de phosphore) corrige aisément les carences du sol et contrebalance les exportations par les grains (30 à 60 kg de N et 5 à 10 kg de P). Cependant dans cette zone soudano-sahélienne, la nutrition minérale des cultures se trouve compliquée du fait de l'exportation presque complète des pailles de sorgho où sont immobilisées pas mal de bases et en particulier 50-70 kg de potassium. Le problème de l'utilisation des résidus de culture se pose donc au niveau de l'érosion, de l'infiltration des pluies et de la nutrition minérale. Il est important d'y apporter une solution qui tienne compte à la fois des moyens mécaniques très limités des paysans, de l'équilibre du sol et de la nutrition hydrique et minérale des plantes.

Enfin, il convient de souligner qu'il est possible de constituer des réserves minérales dans ces sols sans trop de risque de perte par lixiviation puisque le drainage est faible et que l'érosion est facilement maîtrisée.

Quant aux migrations du fer, de l'alumine et même de la silice, les observations montrent qu'elles sont liées à celles des terres et en particulier à l'érosion des particules fines : celle-ci est réduite sous une savane bien couvrante mais elle est très active à la surface des sols mal couverts ou cultivés sans soucis de protection antiérosive. Par contre, le drainage des eaux libres au-delà de 50 cm est peu abondant et les échanges avec les horizons profonds sont peu importants ; les pertes en silice, fer et alumine en solution dans les eaux de ruissellement et de drainage sont largement compensées par les immobilisations de ces éléments dans les pailles (sorgho ou jachère) et leur minéralisation ultérieure.

La dynamique actuelle de ces sols soumis pour la plupart à la culture semble dépendre d'une part des possibilités de correction des carences du sol (N - P - et souvent K) et de compensation des exportations par une fertilisation économiquement rentable, et d'autre part des aménagements conservatoires en vue de favoriser l'infiltration et le stockage des eaux de pluie (travail approprié du sol, politique de restitution des matières organiques, précocité et densité des plantations). La mise en valeur de ces sols ferrugineux de la zone soudano-sahélienne pose moins de problème de lixiviation que les sols ferrallitiques désaturés des zones humides. Il convient cependant d'éviter leur acidification par l'usage d'engrais trop acides ou trop concentrés car le calcium se fixe mal sur le complexe échangeable.

Les bilans établis sous sorgho et jachères à SARIA confirment bien les résultats obtenus sous culture à GAMPELA et sous savane arborescente à GONSE : dans cette zone tropicale sèche du plateau MOSSI, les transferts de matières en solution sont moins actifs verticalement à l'intérieur du profil que latéralement à la surface de ces sols ferrugineux.

Tableau 24. Schéma de bilan géochimique d'une parcelle en jachère (vieille) sur un sol ferrugineux tropical gravillonnaire  
 - SARIA : ERLO Protection, 1971-74 (kg/ha/an).

	Apports			Pertes					Stocks		Cycles internes		Pluvio lessivag
	Pluie 860mm	Remont biologique	Engrais	Erosion (solide) 170 kg	Ruiss. (soluble) 25 mm	Drain. (soluble) 168 mm	Total kg/ha/an	soluble % du total	Végétation	Sol sur 30 cm	Litière 5,1 t herbe 0,3 tfeuilles arbres	Remontée termites 1.200kg/an	
	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14
Carbone	11,2	P.M.	0	6,5	1,2	3,0	10,7	39 %	P.M.	20.131	2.600	17,5	P.M
Azote	5,4	"	"	0,4	0,4	4,8	5,6	93 %		1.646	12,0	0,8	
Phosphore	2,15	"	"	0,07	0,12	0,06	0,25	72 %		683 total 43 olsen	5,4	0,3	
Calcium	18,4	P.M	0	0,4	0,8	52,1	53,3	99 %	P.M.	échangeable			P.M
Magnésium	2,7	"	"	0,2	0,2	10,6	11,0	98 %		905	22,4	1,1	
potassium	3,4	"	"	0,8	0,6	8,2	9,6	92 %		190	6,0	0,8	
sodium	1,0	"	"	0,1	0,1	3,2	3,4	97 %		117	32,4	1,4	
										12	-	0,1	
SiO <sub>2</sub>	5,5	P.M.	0	22,1	0,2	24,0	46,3	52 %	P.M.	302.600	52,2	-	P.M
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3	"	"	17,6	0,01	0,05	17,7	1 %		274.500	8,6	-	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3	"	"	7,9	0,05	0,08	8,0	1 %		130.900	8,0	-	
SO <sub>4</sub>	13,5	P.M.	0	-	0,5	3,0	3,5	100 %	P.M.		1,6	-	P.M
Cl <sup>4</sup>	3,2	"	"	-	0,2	3,9	4,1	100 %			-	-	
CO <sub>3</sub> H	-	"	"								-	-	
quartz	-	"	"	109,2	-	-	-	0			-	-	
Total				170	4,38	112,99							

Tableau 25. Schéma de bilan géochimique d'une parcelle en jachère sur un sol ferrugineux tropical cuirassé vers 50 cm.

- SARIA, ERLO P<sub>7</sub>, (kg/ha/an)

	Apports			Pertes					Stocks		Cycles internes		
	Pluie 860mm	Rem. biol.	Engrais	Erosion (solide) 510 kg	Ruissel. (soluble) 42 mm	Drainage (soluble) 136 mm	Total kg/ha/an	soluble %du total	Végétation (souches) racines arbustes	Sol sur 30cm	Litière (feuilles+ 2,7 t/ha	Remontée termites 400 kg/ha/an	Pluvio lessivage
	1	2			5	6	8	9	10	11	12	13	14
Carbone	11,2	P.M.	0	8,52	1,05	1,54	11,1	23 %	P.M.	18.140	1.300	5,8	
Azote	5,4	"		0,54	0,47	2,54	3,6	84 %		1.578	5,4	0,3	
Phosphore	2,15	"		0,17	0,12	0,06	0,35	51 %		(416)total 20 Olsen	0,54	0,1	
Calcium	18,4	P.M.	0	0,41	0,97	10,66	12,04	97 %	P.M.	Echangeables 1.063	9,45	0,4	
Magnésium	2,7	"		0,21	0,20	3,25	3,66	94 %		294	2,70	0,3	
Potassium	3,4	"		1,22	0,48	3,89	5,59	78 %		148	10,80	0,5	
Sodium	1,0	"		0,17	0,16	6,39	6,72	97 %		32	-	0,1	
SiO <sub>2</sub>	5,5	P.M.	0	40,29	0,45	22,17	62,9	36 %	P.M.	534.000	27,00	-	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3	"		29,89	0,02	0,15	30,1	1 %		464.000	4,1	-	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3	"		10,81	0,06	0,09	11,0	1 %		127.000	2,7	5,3	
SO <sub>4</sub>	13,5	P.M.	0	-	0,90	4,57	5,5	100	P.M.		0,8	-	
Cl	3,2	"		-	0,32	3,09	3,4	100			-	-	
CO <sub>3</sub> H	-			-	-	-	-	-			-	-	
Quartz	-			(411,55)	0	0	-	0			-	-	
Total				510	5,20	58,40							

Tableau 26. Schéma de bilan géochimique d'une parcelle cultivée en sorgho fertilisé sur un sol ferrugineux tropical cuirassé vers 50 cm. SARIA, P<sub>7</sub> culture, 1971-74 (kg/ha/an).

	Apports			Pertes						Stocks		Cycles internes		
	Pluie	Engrais	Rem. biol.	Erosion (solide) 7,3 t/ha	Ruiss. (soluble) 208 mm	Drain. (soluble) 21 mm	Exporta. grain +kg/ha/an (paille) 2t+4,5t	Total soluble %du total	Végétation	Sol sur30cm	Résidus culture (pailles) 4,5 t/ha	Remontée termites P.M. = 0	Pluio lessivage	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Carbone	11,2	-	P.M	149,7	5,4	0,3	900+(2.300)	1055,4	0,5%	P.M.	18.840	2.300	néant	P.M
Azote	5,4	97		11,5	3,5	1,6	40 +(9)	56,6	9,0%		1.578	9,0		
Phosphore	2,15	21,9		2,52	1,28	0,02	6,4+(1,8)	10,2	12,7%		416total 20olsen	1,8		
Calcium	18,4	-	P.M	6,1	8,4	2,7	0,2+(9)	17,4	64%	P.M.	échangeable 1.063	9,0	néant	P.M
Magnésium	2,7	-		6,9	2,4	0,7	3,2+(5)	13,2	23,5%		294	5,0		
Potassium	3,4	50		38,2	8,6	0,6	6,8+(58,5)	54,2	16,9%		148	58,5		
Sodium	1,0	-		5,5	1,0	1,1	—	> 7,6	-		32			
SiO <sub>2</sub>	5,5	-	P.M	1.306,7	5,1	3,2	4 +(36)	1319	0,6%	P.M.	534.000	36	néant	P.M
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3	-		1.054,9	1,1	0,01	4 +(2,3)	1060	0,1%		464.200	2,3		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3	-		238	1,0	0,01	4 +(2,7)	243	0,4%		127.800	2,7		
SO <sub>4</sub>	13,5	36,0	P.M	-	23,2	0,43	0,8+(2,3)	24,4	97%	P.M.		2,3	néant	P.M
Cl	3,2	-		-	9,0	0,4	-	-	-					
CO <sub>3</sub> H	-	-		-	-	-	-	-	-					
quartz *	-	-		(4.480)	-	-	-	-	-					
Total				7.300	70,1	11,04								

\* quartz évalué par différence entre l'érosion totale et la somme des éléments analysés.



## CHAPITRE 6. TRANSFERT DE MATIERE SOUS FORME SOLIDE.

Jusqu'ici nous avons montré que, même en année déficitaire, il pouvait survenir des séquences pluvieuses susceptibles d'entraîner sur les faibles pentes du plateau MOSSI une érosion en nappe très active et surtout des ruissellements intolérables dans ces zones sèches ; par contre le drainage vers les horizons profonds reste faible. Après les bilans géochimiques, il nous faut aborder dans ce chapitre l'impact de l'agressivité du milieu sur l'évolution de la texture des horizons supérieurs du sol.

Comme bon nombre de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux, les profils des cases ERLO de SARIA présentent en surface un horizon appauvri en particules fines (A + L = 18 %) sans qu'il soit possible de mettre en évidence une accumulation correspondante (A + L = 34 à 39 % jusqu'à la cuirasse) dans l'horizon B.

Plusieurs mécanismes peuvent être invoqués pour tenter de l'expliquer :

- 1) Des sédimentations successives au cours de phases morphogénétiques différentes ;
  - 2) La destruction du réseau argileux en milieu acide au contact des acides humiques. L'analyse a montré que si l'on trouve bien 1 à 16 ppm de  $\text{SiO}_2$  dans les eaux superficielles, l'alumine y est quasi absente et ne s'accumule pas non plus à la surface du sol (KI = 1,97). Par ailleurs, les eaux sont peu acides et leur charge en silice provient de la dissolution du quartz toujours très abondant dans toute la gamme de texture et de la libération de la silice mobilisée par les végétaux (27 à 52 kg de  $\text{SiO}_2$  sous sorgho et sous savane).
  - 3) L'érosion en nappe arrachant sélectivement les particules fines de la surface du sol ; divers agents d'homogénéisation transmettent en profondeur l'appauvrissement en fines qui en résulte.
  - 4) Le lessivage oblique des colloïdes de l'horizon A d'un profil situé vers le haut d'une toposéquence, son transport à l'intérieur du sol et le colmatage des sols de bas de pente ou son évacuation par le réseau hydrographique. Dans les conditions étudiées, le lessivage oblique s'est révélé relativement peu actif : il ne concerne probablement que des migrations très localisées favorisant une répartition des sols en mosaïque.
  - 5) Lessivage vertical avec dépôts diffus tout au long d'un profil. Les colloïdes sont mis en suspension par la battance des pluies et pénètrent plus ou moins profondément dans le profil à l'occasion des averses successives.
- Nous résumerons dans ce chapitre les résultats concernant l'érosion sélective, l'activité des termites et la migration des colloïdes dans les eaux de drainage.

### 6.1. L'érosion sélective.

Si on compare les teneurs des éléments érodés à celles de l'horizon superficiel du sol en place, on constate que l'érosion en nappe est un phénomène extrêmement sélectif. L'indice de sélectivité pour chaque élément peut être défini comme le rapport entre ces teneurs dans les matériaux érodés et dans l'horizon labouré du sol. Les éléments des calculs se trouvent aux tableaux 20 et 21, la et lb et les indices de sélectivité pour les 4 traitements étudiés ont été réunis au tableau 28.

Tableau 28. Indices de sélectivité de l'érosion en fonction des traitements.

- SARIA : campagnes 1971 à 74 -

		Vieille jachère sélectivité	Jeune jachère sélectivité	sorgho butté sélectivité	sol nu à plat sélectivité
C	%	9,3	4,9	5,6	3,4
N	"	12,1	6,2	6,4	3,8
P	"	2,9	3,0	2,7	2,3
Ca échangeable	%	33,7	13,4	9,9	4,3
Mg	"	33,8	11,2	11,2	4,0
K	"	75,2	25,5	33,2	5,2
Na	"	54,2	31,0	14,0	4,0
Ca totaux	%	5,6	8,0	5,9	2,9
Mg	"	2,9	1,8	2,8	2,0
K	"	9,5	5,6	10,7	8,4
Na	"	16,1	11,8	16,0	11,6
SiO <sub>2</sub>	%	2,7	1,1	2,5	1,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	"	2,3	0,9	2,3	1,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	"	1,7	0,9	1,4	1,2
Argile	%	1,54	1,89	5,45	4,56
Limon fin	"	2,91	0,96	3,32	3,25
Limon grossier	"	0,85	0,86	0,82	1,27
Sables fins	"	0,83	0,96	0,45	0,45
Sables grossiers	"	0,65	0,94	0,30	0,27
Refus	"				

Du tableau 28 on peut conclure que

- l'érosion est très sélective sur les sols gravillonnaires car seule la terre fine est déplacée ;
- l'érosion est très sélective vis-à-vis des matières organiques, de l'azote, des bases totales et surtout des bases échangeables ;
- la sélectivité est encore nette par la silice et l'alumine et dans un moindre mesure pour le fer et le phosphore ;
- l'érosion en nappe et rigole entraîne sélectivement l'argile (1,5 à 5,5 fois) et les limons fins (3 fois) ; par contre les sables et les graviers s'accumulent sur place.

L'érosion est d'autant plus sélective que le sol est bien couvert. Ceci est exact en ce qui concerne les éléments chimiques les plus mobiles mais ne se vérifie plus pour la texture.

Ceci pourrait s'interpréter comme un apport accidentel de sables venus des bordures de parcelle, pollution qui n'est sensible que lorsque les migrations de terre sont très faibles, ce qui est le cas des jachères. Sous culture cependant, argile et limon fin sont érodés très sélectivement, ce qui signifie qu'en zone densément peuplée où les jachères disparaissent, l'érosion augmente et entraîne l'accélération de l'appauvrissement en fines de l'horizon labouré de ces sols ferrugineux.

Non seulement l'horizon humifère s'amincit, mais il se transforme en un voile de sable et de gravier qui retient mal l'eau et les éléments nutritifs. Ce voile protégerait le sol de toute érosion ultérieure si des agents d'homogénéisation (labour, termites, fourmis, vers de terre) ne mélangeaient les horizons superficiels et ne rapportaient en surface des matériaux plus fins.

Ces phénomènes d'appauvrissement en fines par érosion sélective ont été observés sur des sols ferrallitiques de basse COTE d'IVOIRE, mais ils prennent une plus grande importance pédogénétique sur les sols ferrugineux tropicaux des faibles pentes du plateau MOSSI. (ROOSE, 1968).

#### 6.2. Activité des termites dans les jachères de SARIA.

A GONSE, (ROOSE, 1976-78) l'attention de l'auteur a été attirée par la multitude de petites termitières cylindriques (hauteur max = 50 cm, diam. max = 66 cm) construites par une espèce de termites moissonneuses (*Trinervitermes geminatus*). Il s'agissait d'une population en équilibre comportant en moyenne 1300 nids épigés à l'hectare soit 8,1 t/ha de matériaux terreux prélevés à la limite des horizons A et B, à raison de 1200 kg/ha/an et enrichis par les résidus de digestion des litières dont cette espèce a l'habitude de tapisser les parois internes de leurs édifices.

A SARIA se retrouvent les mêmes termitières et l'auteur s'est limité à en faire l'inventaire d'année en année dans le but d'évaluer les remontées annuelles de terre.

En parcelle de Protection, les observations ont été effectuées de mai 1973 à mai 74 sur la vieille jachère qui se présente comme une savane arborescente bonne productrice d'herbes (3 à 9 t/ha/an d'*Andropogon*) mais soumise au pâturage extensif jusqu'en juin 1971 et à l'exploitation des termites pour nourrir les volailles. Après la mise en défens intégrale, le nombre de nids est passé en un an de 172 à 808 nids à l'hectare ce qui représente 581 à 2931 kg/ha de matériaux terreux grâce à un rythme de remontée de 1000 à 1343 kg/ha/an (soit 1200 kg en moyenne).

Quant à la parcelle 7, elle était cultivée en mil fourrager en 1970 et le stock de termitières était quasi nul en mai 1971. Connaissant le point de départ de cette population, il était aisé de contrôler l'estimation de la croissance calculée en fonction du diamètre basal moyen des termitières. Les observations montrent que le poids des nids double chaque année (304-611 et 1244 kg/ha/an). La pesée de toutes les termitières en mars 1975 confirme ce dernier chiffre (stock = 1476 kg par pesée contre 1244 kg/ha/an estimé à partir du diamètre basal moyen de chaque termitière). La croissance moyenne atteint 1.200 kg/ha/an sur la parcelle ERLO (250 m<sup>2</sup>) et 370 kg/ha/an sur l'ensemble de la surface herbacée (+fauchée) de la parcelle P<sub>7</sub>, clôturée (2.920 m<sup>2</sup>). Une seule petite termitière persiste sur la parcelle d'érosion (100 m<sup>2</sup>) cultivée pendant 4 ans en sorgho dans cet enclos.

Des études plus fouillées à GONSE ont montré que les terres de termitière sont plus riches en argile et limons (0 à 50 microns) en carbone, azote, phosphore, bases échangeables et totales (en particulier en potassium qui se retrouve dans l'érosion sélective) que le sol environnant. Les termites ont une action réduite sur la densité apparente et la porosité des horizons où elles circulent mais augmentent considérablement l'infiltration. Un essai avec le dispositif Müntz à double anneau a montré que sur le sol P<sub>7</sub> recouvert d'une pellicule de battance, l'infiltration n'atteignait que 10 à 25 mm/heure. Un seul trou de termite (3 mm de diamètre) augmentait l'infiltration jusqu'à 60 mm/heure et le piochage du sol sur 5 cm jusqu'à 200 mm/heure. L'érosion des nids abandonnés entraîne sélectivement la majorité des particules fines et des bases remontées pour ne laisser sur place qu'un voile de sable à structure particulière. Le travail des termites nourrit l'érosion sélective, mais l'action la plus spectaculaire des termites c'est le brassage des horizons superficiels, la restructuration des matériaux issus de l'altération des roches mères, l'évolution et l'approfondissement des horizons A lixiviés en bases et appauvris en particules fines. Certes, l'activité des Trinervitermes est moins spectaculaire que celle de Bellicositermes qui construit les grandes termitières cathédrales, mais elle aboutit tout de même à un dépôt de terre fine à la surface du sol (+ 1200 kg/ha/an) dont l'érosion n'enlève qu'une fraction (quelques centaines de kg/ha/an sous savane) et à l'approfondissement des horizons appauvris en fines et lixiviés en bases.

### 6.3. Le lessivage oblique et vertical.

Les cases de drainage oblique (ERLO) et vertical (DV) ont été conçues pour mesurer les charges solubles et colloïdales des eaux drainant à différents niveaux du profil (perturbation minimum du sol). Nous avons donc prélevé à SARIA 65 échantillons de drainage vertical et 25 échantillons de drainage oblique représentant 160 litres en tout qui, après 1 à 3 mois de délais de transport, ont subi toute une série de manipulations pour séparer la charge colloïdale des solutions et des pollutions (sables, agrégats, insectes). Etant donné les délais, les résultats demandent à être interprétés avec prudence, mais il semble cependant possible d'en tirer quelques conclusions :

- 1) La charge colloïdale varie de 60 à 660 mgr/l dans le drainage oblique et de 20 à 400 mgr/l dans les eaux issues des cases de drainage vertical mais les valeurs les plus fréquentes sont groupées entre 50 et 350 mgr par litre (moyenne = 150 mgr/l).
- 2) En général les teneurs en colloïdes diminuent lorsque le drainage est plus profond mais il y a des exceptions qui proviennent sans doute des variations des volumes d'eau écoulés (drainage plus faible en profondeur, charge colloïdale plus élevée).
- 3) Les couleurs varient du brun au jaune, crème et blanc, les couleurs claires étant liées à des écoulements profonds.
- 4) Il est difficile de faire apparaître des différences systématiques de charge colloïdale des eaux de drainage en fonction des types de sol mais les eaux recueillies sous culture sont généralement plus chargées que sous savane.
- 5) Dans les eaux de nappe récupérées à la station de pompage d'octobre 1974 à fin mars 1975, la charge colloïdale moyenne est de l'ordre de 111 mgr/litre.

L'interprétation de ces variations peu ordonnées de la charge colloïdale des eaux de drainage, mais variations comprises à l'intérieur d'une fourchette assez étroite, est délicate ; cependant ces variations ne tirent pas à conséquence puisque le volume du drainage est très réduit.

Selon le schéma proposé antérieurement (ROOSE 1972, 1977), les colloïdes seraient mis en suspension par l'énergie des gouttes de pluie tombant à la surface du sol. De cette masse boueuse (turbidité moyenne = 180 à 380 mgr/l) une partie ruisselle et l'autre s'infiltré.

A mesure qu'elles percolent en profondeur les eaux perdent leur charge, d'abord brutalement au niveau de la pellicule de battance, ensuite plus progressivement en commençant par les plus grosses particules (colorées par le fer et les matières organiques) ; ensuite vient le tour des particules plus fines et plus blanches. Il n'existe pas de variations de conditions physico-chimiques particulièrement favorables à la floculation mais on peut très bien concevoir dans ces sols ferrugineux que la charge colloïdale des eaux de percolation se dépose dès que la tension capillaire est trop élevée (front d'humectation du sol). Lors des grosses averses qui donnèrent lieu aux écoulements profonds que nous avons recueillis, le front d'unfiltration pourrait chasser plus bas ces dépôts temporaires (d'où les fortes charges observées).

Il faut noter encore que ces résultats ne confirment pas la théorie classique du lessivage selon laquelle les eaux pénétreraient dans les horizons A où elles se chargeraient en colloïdes et se déchargeraient dans les horizons B "illuviaux". La charge en effet reste forte jusque dans la nappe (111 mgr/l.).

#### 6.4. Vitesse actuelle de l'appauvrissement en particules fines.

Sans préjuger des variations climatiques passées et de phases géomorphologiques successives intervenant dans la mise en place des horizons sur la cuirasse, il nous semble utile d'évaluer l'efficacité des moteurs de la pédogenèse actuelle.

En comparant la quantité de fines (A+L) qui manquent dans les horizons appauvris pour ressembler aux horizons sous-jacents les plus riches (513 et 557 t/ha d'A+L perdues), aux pertes annuelles par érosion sélective (102 et 3.314 kg/ha/an en P<sub>7</sub> et 28,9 kg en Prot.) et par lessivage (150 mgr x le drainage = 205 et 31,5 kg en P<sub>7</sub> contre 252 kg/ha/an en Prot.), on calcule qu'il faut 1.700 à 2.000 ans sous jachère pour atteindre le stade actuel d'appauvrissement mais qu'il suffirait de 153 ans sous une culture de sorgho.

Sur les sols ferrugineux du plateau MOSSI, où le pouvoir évaporant de l'air reste élevé toute l'année et où le sol est colmaté par une pellicule de battance, le lessivage des argiles en profondeur est

limité. Par contre le ruissellement est très développé sur ces pentes faibles et l'érosion, particulièrement sélective, est le moteur des phénomènes d'appauvrissement en fines des horizons superficiels qui se manifeste lors de la mise en culture. En remontant des matériaux plus argileux des horizons profonds, le labour et le travail des termites nourrissent l'érosion sélective et favorisent le développement des horizons appauvris.

Annexe . Mode de calcul de la vitesse d'appauvrissement.

En Parcelle 7.

• Appauvrissement sur 15 cm

- différence taux A+L (38 - 18 %) = 20 % entre le Maxi et l'horizon appauvri.

- masse = 10.000 m<sup>2</sup> x 0,15 cm x 1,71 (da) x 0,20 = 513 t/ha de A+LF.

• Erosion sélective.

- (jachère d taux (20 %) x Erosion ( 510 kg) = 102 kg/ha/an de A+LF

- (culture (45,4 %) x (7.300 kg) = 3.314,2 kg/ah/an de A+LF

• Lessivage.

- jachère drainage (136 mm) x charge (150 mgr/1) = 204 kg

- culture 21 mm x 150 mgr/1 = 31,5 kg

• Temps d'appauvrissement.

- jachère masse (513 t/ha) : perte en A+L (102 + 204 kg/ha/an) =  
1.676 ans

- culture (513 t/ha) : (3.314,2 + 31,5) = 153 ans

En Protection sous vieille jachère.

• Appauvrissement sur 18 cm

- différence de taux (34,6 - 17,6) = 17 %

- masse = 10.000 m<sup>2</sup> x 0,15 cm x 1,82 (da) x 0,17 = 556,92 t/ha

• Erosion sélective

d taux (17 %) x Erosion (170 kg/ha/an) = 28,9 kg/ha/an de A+LF

• Lessivage

drainage (168 mm) x charge (150 mgr/1) = 252 kg

• Temps d'appauvrissement

masse (556,92 t/ha) : appauvriss = (28,9 + 252 kg/ha/an) = 1.983 ans.

Note Le lessivage moyen est évalué par excès car si le drainage est bien celui qui a été calculé pour des précipitations moyennes (830 mm), la charge (150 mgr/1) est la moyenne des charges observées ; or on trouve encore plus de 100 mgr/1 dans les eaux de nappe, il serait donc plus juste de ne compter que sur la différence de charge (150 - 110 = 40 mgr/1) soit un peu plus du 1/4 de ce qui a été pris en compte.

## CHAPITRE 7. RESUME ET CONCLUSIONS GENERALES.

Durant quatre années, un grand nombre de mesures ont été effectuées à SARIA sur deux sols ferrugineux tropicaux peu épais sur carapace en vue de caractériser leur dynamique actuelle.

Les précipitations annuelles ont été largement déficitaires (100 à 200 mm) par rapport à la moyenne (830 mm). Cependant des averses et surtout des séries d'averses donnèrent lieu à des phénomènes d'érosion et de drainage probablement aussi importants qu'en année normale : en effet, ces phénomènes dépendent avant tout de la répartition des épisodes pluvieux et du couvert végétal. L'agressivité climatique (fonction de l'énergie des pluies et de leur intensité : R annuel moyen = 450) s'avère plus forte dans cette zone soudano-sahélienne qu'en zone méditerranéenne (R = 50 à 350) mais moins sévère qu'en région tropicale humide (R ABIDJAN = 1200).

Le ruissellement reste faible tant que le sol est bien couvert (cas des jachères protégées) mais il peut atteindre des valeurs intolérables dans ces zones sèches sur les sols dénudés (feux de brousse tardifs) et les cultures de sorgho (KR = 40 % des pluies annuelles et 70 % lors des fortes averses. A part certaines cuirasses imperméables, les horizons des sols ferrugineux sont relativement filtrants : mais leur pauvreté en matières organiques et leur richesse en limons et sables fins les rend très sensibles à la battance des pluies. Une pellicule de battance de quelques millimètres d'épaisseur colmate le sommet du profil et limite l'infiltration. Le travail du sol et l'activité de la mésofaune peuvent réduire l'influence de cette pellicule en attendant que le couvert végétal intercepte l'énergie des gouttes de pluie.

L'érosion en nappe sur les pentes douces du plateau MOSSI est aussi faible sous une savane dense que sous les forêts des régions tropicales humides. Cependant, elle peut atteindre 35 t/ha/an sur sol nu et 5 à 15 t/ha/an sous sorgho ; en effet, le couvert du sorgho reste longtemps médiocre et les sols ferrugineux (K = 0,2 à 0,3) sont moins résistants à l'énergie des pluies que les sols ferrallitiques (K = 0,05 à 0,15). Ces pertes ne sont pas quantitativement graves pour les sols profonds de la région mais elles sont dramatiques là où la cuirasse affleure. De plus l'érosion en nappe est particulièrement sélective vis-à-vis des particules fines organiques et minérales, celles qui assurent la réserve en eau et en minéraux nutritifs.

Non seulement l'érosion décape lentement l'horizon humifère, mais il l'appauvrit en particules fines ne laissant sur place qu'une queue de sable et de graviers.

Le drainage oblique se manifeste rarement au-dessus de la cuirasse mais peut être actif au sommet de la nappe phréatique qui peut remonter très haut dans le profil pendant quelques semaines par an. En dehors des sols squelettiques, le drainage vertical est assez réduit (0 à 200 mm/an) à cause du pouvoir évaporant de l'air et du ruissellement élevé. Si donc on aménage le terroir en vue de favoriser l'infiltration totale des pluies, il faut prévoir l'intensification de l'évapotranspiration du couvert pour éviter l'augmentation du drainage et des pertes par lixiviation.

Le régime hydrique de ces sols ferrugineux peu profonds s'avère particulièrement déficitaire en début et en fin du cycle cultural : la carence hydrique influence aussi sévèrement les rendements des cultures que les carences minérales.

Le schéma de bilan géochimique des jachères de SARIA montre que si les apports sont faibles, les pertes par érosion et drainage sont très limitées. Lorsque la savane est protégée le bilan est légèrement positif. Comme les flux sont faibles par rapport au stock du sol, on constate un enrichissement rapide de la végétation, une diminution sensible des pertes et une amélioration assez lente des réserves nutritives assimilables et plus rapide des propriétés physiques des horizons superficiels du sol. Sous culture de sorgho, les pertes par drainage sont réduites. Les pertes par érosion sont du même ordre que l'exportation par les grains et les panicules (quelques 15 unités de N, 4 unités de P, mais 40 unités de K) : ce n'est pas énorme mais c'est beaucoup trop pour un pays pauvre où les engrais coûtent cher. Avec l'usage d'engrais azotés acides et d'engrais très concentrés, se pose aussi le problème de l'acidification des sols : le calcium se fixe mal sur le complexe absorbant.

L'apport d'une fumure modeste (100 unités de N, 22 de P et 50 de K) suffit pour couvrir l'exportation minérale par les grains de sorgho et supprimer les effets des carences du sol. Par contre l'exportation des pailles (utilisation domestique et artisanale très répandue en pays MOSSI) déséquilibre sérieusement le bilan minéral et organique.

Le problème de l'utilisation au champ des résidus de culture doit être abordé en tenant compte du bilan minéral, de l'acidification et de la dégradation des propriétés physiques liées aux matières organiques du sol mais aussi mécaniques très limités des paysans et de leurs besoins en matériaux pour l'artisanat et en énergie domestique (plantations forestières villageoises).

Du point de vue pédologique, les problèmes de lixiviation des éléments nutritifs sont beaucoup moins aigus qu'en zone tropicale humide et il peut être envisagé de stocker certains éléments nutritifs dans le sol sans craindre leur perte. Par contre, nombreux sont les sols ferrugineux qui présentent un horizon superficiel appauvri en particules fines.

AUDRY (1967) interprète cet appauvrissement comme le résultat du lessivage des argiles par le front d'infiltration qui passe plus souvent en surface qu'en profondeur. Suite aux mesures de charge colloïdale des eaux de ruissellement et de drainage, l'auteur (ROOSE 1972, 77, 78) a émis l'hypothèse suivant laquelle les eaux de pluie se chargent en colloïdes grâce à l'énergie cinétique des gouttes de pluie dissociant les agrégats à la surface du sol.

L'augmentation de tension capillaire suffirait pour provoquer le dépôt des particules en suspension. L'analyse microscopique des lames minces (annexe 2) montre que l'horizon appauvri a l'allure d'un horizon dégradé, vidé de sa substance fine, à porosité décapée ; dans les horizons sous-jacents par contre, on trouve des dépôts argileux jaunes plus ou moins développés dans les pores et des dépôts argileux ferruginisés dans la cuirasse. Dans la zone d'argile tachetée, on retrouve des accumulations d'argile jaune dans les canalicules. Cette observation n'infirme pas la possibilité d'intervention d'un deuxième phénomène : l'érosion en nappe, particulièrement sélective dans ces paysages peu pentus, nourrie par l'action de divers agents d'homogénéisation (termites, fourmis, vers de terre, travail du sol sous culture, etc...) qui favorisent l'approfondissement de l'horizon appauvri. Sous jachère naturelle, lessivage et érosion sélective exigent quelques milliers d'années pour reproduire au rythme actuel l'appauvrissement constaté. Sous culture, l'érosion en nappe est telle qu'il suffirait de 150 ans. Etant donnée la densité de la population et la réduction de la jachère l'appauvrissement des sols de la région nous semble donc étroitement liée à l'érosion sélective qui se manifeste lors des cultures.

Dans ces régions à pente douce où les pluies ne dépassent guère 100 mm/24 heures où l'ETR reste très élevée toute l'année, la mise en valeur de ces

sols ferrugineux tropicaux nécessite une fertilisation minérale modeste et surtout une amélioration de l'infiltration des pluies par de petits aménagements antiérosifs visant la rétention totale de précipitations (gros billons isohypses enherbés), par l'utilisation aux champs de toutes les matières organiques disponibles, par les techniques culturales détruisant la pellicule de battance et favorisant l'enracinement et la densité du couvert végétal.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier la direction de l'O.R.S.T.O.M. et celle de l'I.R.A.T. de nous avoir confié la réalisation de ce programme de recherche fondamentale aboutissant si vite à des conclusions pratiques.

Ce programme très chargé n'aurait pu être réalisé sans la bonne volonté du personnel du C.R.A. de SARIA : que chacun trouve ici ma reconnaissance pour sa collaboration active à des titres très divers.

Je remercie aussi mes collègues de l'O.R.S.T.O.M. qui ont fait progresser ce programme :

- Monsieur GOUZY, Chef du Laboratoire Central d'Analyse d'ADIPODOUME et son équipe de techniciens de laboratoire qui a réalisé de nombreuses analyses,
- Messieurs des TUREAUX et ASSELINE et l'équipe du laboratoire de pédologie expérimentale qui m'ont aidé à mettre en place et à exploiter le réseau des 8 stations d'observation,
- Messieurs AUDRY, de BOISSEZON, CHATELIN, LAFFORGUE, LELONG, FAUCK, FOURNIER, MAIGNIEN, RODIER et AUBERT qui par leurs conseils et leurs critiques constructives ont fait progresser mes réflexions sur la dynamique actuelle des sols.

Peu de programmes de recherches demandent la collaboration de tant de personnes d'horizons très divers ; la liste étant trop longue, que chacun trouve ici l'expression de mes sentiments reconnaissants.



Annexe 1

Bibliographie

- ARRIVETS (J), 1973 a.
  - Contribution à l'étude de la fertilisation des sorghos locaux sur les sols ferrugineux tropicaux du Plateau MOSSI.
  - Compte-rendu de 4 années d'expérimentation à SARIA (HAUTE-VOLTA, 1968-71).
  - Rapport I.R.A.T./ H.V. 67, p. dact.
  
- ARRIVETS (J), 1973 b.
  - Résultats de riziculture sans aménagement en zone soudanienne. L'exemple de bas-fonds du Centre HAUTE-VOLTA.
  - Agron. Trop. 28, 1, p 34-53.
  
- 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.
  - Dispositif d'étude et premiers résultats (SARIA, 1971)
  - Annexes.
  - Rapport I.R.A.T.-H.V./ O.R.S.T.O.M. - C.I., 85 + 88 p multigr.
  
- AUBERT (G), TAVERNIER (R), 1972.
  - Soil Survey - in "Soils of the humid tropics.
  - National Ac. of Sciences. WASHINGTON DC, 218 p.
  
- AUDRY (P), 1967.
  - Observations sur le régime hydrique comparé d'un sol ferrugineux tropical faiblement lessivé sous savane et sous culture
  - Coll. Fertilité des sols tropicaux : TANANARIVE, nov. 1967, Comm. n° 129 tome 2, p 1591-1614.
  
- BERGSMA (E), 1978.
  - Provisional rainerosivity map of the Netherlands, Symposium "Etude de l'érosion aux U.S.A. et en EUROPE : Gand, mars 1978.

- BOLLINE (A), LAURANT (A), et alt., 1978.
  - " Rain/Erosivity map of BELGIUM",  
Symposium "Etude de l'érosion aux U.S.A. et en EUROPE" : GAND,  
mars 1978.
  
- BRUNET-MORET (Y), 1963.
  - Etude générale des averses exceptionnelles en AFRIQUE OCCIDENTALE :  
République de HAUTE-VOLTA.
  - Rapport C.I.E.H. - O.R.S.T.O.M. 23 p.
  
- CHARREAU (C), 1969.
  - Influence des techniques culturales sur le développement du ruissellement et de l'érosion en CASAMANCE.
  - VII Congrès Int. du Génie rural, C.N.R.A. BAMBEY, 13 p.
  
- CHARREAU (C), NICOU (R), 1971.
  - L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone sèche Ouest-Africaine et ses incidences agronomiques. Agron. Trop. (26, 9, pp. 903-978  
(26, 11, pp. 1183-1247
  
- Commission de Pédologie et de Cartographie des sols (C.P.C.S.), 1967.
  - Classification des sols. PARIS 87 p. multigr.
  
- C.T.F.T., 1966.
  - L'équation universelle de perte de sols de WISCHMEIER.
  - Rapport C.T.F.T., MADAGASCAR, 15 p. multigr.
  
- C.T.F.T., 1973.
  - Défense et restauration des sols : GAMPELA, campagne 1972.
  - Rapport C.T.F.T./Min. Agric. H.V. OUAGADOUGOU, 59 p. multigr.
  
- C.T.F.T., 1974.
  - Rapport annuel 1973 du C.T.F.T. en HAUTE-VOLTA.
  - Rapport C.T.F.T.T. / Min. Agric. H.V. OUAGADOUGOU, 56 p. multigr.
  
- DUMAS, 1965.
  - Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques.
  - Cah. O.R.S.T.O.M. Sér. Pédol. 3, 4, p. 307-333.

- DELWAULLE (J.C), 1973.
  - Résultats de six années d'observation sur l'érosion au NIGER
  - Bois et Forêts des Tropiques 150, p 15 - 37
  
- GALABERT (J), MILLOGO (E), 1973.
  - Indice d'érosion par la pluie en HAUTE - VOLTA.
  - C.T.F.T / MIn. Agric. H.V. OUAGADOUGOU, 57 p. multigr.
  
- GOUZY (M), 1973.
  - Méthodes d'analyses utilisées au laboratoire Central d'analyse du Centre O.R.S.T.O.M. d'ADIOPODOUME.
  
- HEUSCH (B), 1970.
  - L'érosion du Pré-Rif. Une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Pré - Rif occidental.
  - Ann. Rech. Forestière au MAROC. , t 12, p 9 - 176.
  
- HEUSCH (B), 1971.
  - Estimation et contrôle de l'érosion hydraulique.
  - C.R. Soc. Sci. Mat. et Phys. du MAROC p 41 - 54.
  
- HUDSON (N.W), 1973.
  - Soil conservation
  - B.T. Batsford limited LONDON 320 p
  
- JENNY (F), 1965.
  - Sols et problèmes de fertilité en HAUTE - VOLTA.
  - Agron. Trop. 2, p 220 - 247.
  
- KALMAN (R), 1967.
  - Le facteur climatique de l'érosion dans le bassin du SEBOU (MAROC)
  - Projet SEBOU, 32 p multigr.
  
- 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 B.R.G.M 2, 3, 2, p 41 - 52.

- MASSON (J.M), 1971.
  - L'érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen. Méthodes expérimentales pour l'étude des quantités érodées à l'échelle du champ.
  - Thèse Doct. Ing. Univ. du LANGUEDOC. C.N.R.S. n° Ao 5445, 213 p.
  
- MAIGNIEN (R), 1968
  - Les sols ferrugineux tropicaux : unité pédologique.
  - O.R.S.T.O.M. YAOUNDE, 34 p multigr.
  
- PIEYNS (S), KLEIN (J.C), 1964.
  - Etudes hydrologiques des bassins versants de la région de OUAGADOUGOU. Campagnes 1961 à 63.
  - Rapport O.R.S.T.O.M. service hydrologique PARIS, 95 p multigr.
  
- 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 C.S.T.R./ OUA DAKAR, juillet 1971
  - Rapport I.R.A.T./H.V., 31 p multigr.
  
- ROOSE (E.J), 1967.
  - Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au SENEGAL.
  - Agron. Trop. 22, 2, p 123 - 152.
  
- ROOSE (E.J), 1968.
  - Erosion en nappe et lessivage oblique dans quelques sols ferrallitique de COTE d'IVOIRE.
  - WASA, ABIDJAN avril 1968, 15 p multigr.
  
- 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

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

- Mesure de l'érosion et du lessivage oblique et vertical sous une savane arborée du plateau MOSSI (GONSE : HAUTE - VOLTA) I Campagnes 1968-69.
- Rapport O.R.S.T.O.M./C.T.F.T., ABIDJAN, 184 p, multigr.

ROOSE (E.J), Henry des TUREAUX (P), 1970.

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

ROOSE (E.J), 1971.

- Projet de lutte contre l'érosion hydrique sur le plateau MOSSI (HAUTE - VOLTA).
- Rapport O.R.S.T.O.M. ABIDJAN, 22 p multigr.

ROOSE (E.J), BERTRAND (R), 1971.

- Contribution à l'étude de la méthode des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de l'Ouest. Résultats expérimentaux et observations sur le terrain.
- Agron. Trop. 26, 11, pp 1270 - 1283.

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. Bull. Liaison Pédol. thème A. n°1 p 19 - 41.

ROOSE (E.J) 1972.

- Comparaison des causes de l'érosion et des principes de lutte antiérosive en zone tropicale humide, tropicale sèche et méditerranéenne.
- Journée Etude Génie Rural. FLORENCE sept. 1972, p.417 - 441.

ROOSE (E.J), 1973.

- Dix-sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse COTE d'IVOIRE. Contribution à l'étude de l'érosion hydrique en milieu intertropical.
- Thèse Doct. Ing. Fac. Sci. ABIDJAN n° 20, O.R.S.T.O.M., 125 p multigr.

ROOSE (E.J), 1974.

- Contribution à l'étude de la résistance à l'érosion de quelques sols tropicaux.
- Congrès Soc. Int. Sci. Sol MOSCOU, août 1974. tome II, p 54 - 61.

ROOSE (E.J), 1974.

- Conséquences hydrologiques des aménagements antiérosifs.
- XIII Journées de l'Hydraulique, PARIS sept. 1974, question 3 rapport 10, 6 p.

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

- Etude du ruissellement, du drainage et de l'érosion sur deux sols ferrugineux de la région Centre HAUTE - VOLTA. Bilan de trois années d'observation à la station de SARIA.
- Rapport O.R.S.T.O.M./C.I - I.R.A.T./H.V., 83 p multigr.

ROOSE (E.J), 1974.

- Influence du type de plante et du niveau de fertilisation sur la composition des eaux de drainage en climat tropical humide.
- XIII Journées Hydraulique, PARIS 1974, question 3 rapport 13 7 p.

ROOSE (E.J), 1974.

- Contribution à l'étude de l'influence de la sécheresse sur l'évolution actuelle de certains sols ferrugineux tropicaux en zone sahélienne.
- Rapport O.R.S.T.O.M. ABIDJAN. 17, p multigr.

ROOSE (E.J), 1976.

- Conservation des eaux et du sol en vue de l'intensification de l'exploitation de l'espace agricole tropical.
- Coll. Seneca, PARIS mars 1976, Comm. n° 322, 7 p.

ROOSE (E.J), LELONG (F), 1976.

- Les facteurs de l'érosion hydrique en AFRIQUE tropicale, Etudes sur petites parcelles expérimentales.
- Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dyn., 18, 4, p. 365 - 374.

ROOSE (E.J), 1976.

- Application of the Universal Soil loss Equation in West AFRICA.
- Nat. Erosion Conference : PURDUE, mai 1976 in S.S.S.A., special publication n° 21, p 60 - 74.

ROOSE (E.J), 1976.

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

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., 33, 2, p. 132. - 140.

ROOSE (E.J), 1977.

- Pédogenèse actuelle d'un sol ferrugineux complexe issus de granite sous une savane arborescente du Centre HAUTE - VOLTA. GONSE, campagnes 1968 à 74.
- Rapport O.R.S.T.O.M. PARIS, 104 p. multigr.
- id. in cah. O.R.S.T.O.M. Sér. Pédol. 16, 2. Sous presse.

ROOSE (E.J), 1977.

- "Erosion et ruissellement en AFRIQUE de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales.
- Travaux et Documents de l'O.R.S.T.O.M. n° 78 , 108 p.

SEGALEN (P), 1967.

- Les facteurs de formation des sols ferrugineux tropicaux.
- Rapport O.R.S.T.O.M. PARIS, Réunion annuelle des pédologues, 13 p multigr.

SEGALEN (P), 1969.

- Le remaniement des sols et la mise en place de la stone line en AFRIQUE.
- Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Pédol., 7, 1, p 113 - 127.

SIBAND (P), 1972.

- Etude de l'évolution des sols sous culture traditionnelle en HAUTE - CASAMANCE.
- Agron. Trop. 27,5 p 574 - 591.

STALLING (J.N), 1953.

- "Continucus plant cover. the key to soil and water conservation".
- J. Soil and Water Cons. 8, p. 63 - 68.

VUILLAUME (G), 1968.

- Premiers résultats d'une étude analytique du ruissellement et de l'érosion en zone sahélienne. Bassin représentatif de KOUNTKOUZOUT (NIGER)
- Cah. O.R.S.T.O.M. Sér. Hydrol. 5, 2, p 33 - 56.

WISCHMEIER (W.H), 1959.

- A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation.
- Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23, p 246 - 249.

WISCHMEIER (W.H), SMITH (D.D), 1960.

- A universal soil-loss estimating equation to guide conservation farm planning
- 7 th. Int. Congres Soil Sci. Soc., t 1, p.418 - 425.

WISCHMEIER (W.H), JOHNSON (C.B), CROSS (B.V), 1971.

- A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites.
- J. of Soil and Water Conservation 26, 5, p.189 - 192.

ANNEXE 2. Description sommaire des lames minces \* tirées des profils de SARIA.

---

La mesure approchée de tout ce qui entre et sort du profil pédologique considéré comme une "boite noire" nous donne un bilan des transferts de matières dont il vaut la peine de vérifier les conclusions par l'observation morphologique.

Nous avons passé beaucoup de temps sur le terrain à palper, observer et décrire les profils caractérisant nos champs expérimentaux. L'analyse microscopique des lames minces taillées dans des mottes prélevées dans les différents horizons s'avère une méthode élégante et précieuse pour vérifier bon nombre de conclusions des résultats analytiques et expérimentaux. Sans prétendre à une description micromorphologique "dans les règles de l'art", nous signalerons pour chaque horizon la composition minéralogique, la structure, la porosité et surtout les dépôts argileux.

1° PROFIL SARIA P<sub>7</sub> : sol ferrugineux tropical sur carapace vers 50 cm.

---

lame SAR 11 à 13

hor. gris humifère, sableux, appauvri (A1) 0 - 15 cm

- purée de petits éclats de quartz entre de gros quartz fendillés + ferruginisés.
- argile jaune dispersée dans la masse ou en granules.
- quelques gravillons ferrugineux (2 - 5 mm), parfois ferruginisation 2aire, inclusions de quartz.
- quelques feldspath et minéraux lourds (épidote) très petits et rares.
- nombreuses racines.
- structure fondue (typique des sols lessivés et battant).
- très peu ou pas de dépôts argileux sur les pores dont les bords ont l'air bien décapés.
- quelques traces de structures tubulaires dues à la faune.

Note : Nous profitons de cette occasion pour remercier Monsieur HANRION de l'aide qu'il nous a apportée en réalisant une centaine de lames minces sur divers profils pédologiques de notre réseau d'expérimentation.

lames SAR 21 à 22 bis orientées.

hor. beige, argilo sableux, AB, 15 - 30 cm.

- même composants, même structure mais plus chargé d'argile jaune.
- porosité interquartz mieux développée et légèrement soulignée d'argile jaune.
- quelques canalicules avec revêtements nets.
- les dépôts d'argile sont plus abondants sous les étranglements, dans les petits canalicules et autour des racines mais peu abondants dans les macropores.
- c'est déjà un B avec accumulation modeste d'argile mais amélioration de la structure.

lames SAR 31 à 33 orientées.

hor. brun jaune avec ligne grise hydromorphe sablo-argileuse 30 - 56 cm.

- même composants, même disposition générale.
- mais porosité tubulaire et interstitielle bien développée avec pas mal recouvrements argileux au bas des pores et dans les étranglements des canalicules.
- argile jaune formant déjà des taches plus denses dans la masse.
- gravillons ferrugineux plus fendillés, plus de ferruginisation et gros quartz cassé en bordure.
- structure bien développée ; agrégats recouverts de cutanes argileux jaune.
- nodules ferrugineux détritiques (quartz pris dans la masse mais cassé en bordure).

C'est un horizon d'accumulation très net avec nombreuses traces de dépôts d'argile plus épaisses dans la zone basse et étranglée des porosités qu'en haut.

lame SAR 41 à 43

hor. gravillonnaire <sup>+</sup> gris vers 58 cm = Sommet carboace.

- gros quartz et gros gravillons ferrugineux (1 à 12 mm de diam) = 60 % de refus.
- pâte d'éclats de quartz + argile jaune + riche en fer (orange)
- nombreux pores soulignés d'argile jaune
- gros quartz intégré dans gravillon et cassé en bordure du gravillon (donc mouvement et usure des gravillons).

- 2 générations gravillons les uns + rouge foncé, les autres + clairs. mais les bords sont souvent soulignés de brun jaune.
- gros quartz très fendillés et ferruginisés.
- toujours les mêmes constituants mais envahissement progressif par les gravillons fer.

#### SAR 51 à 53

- carapace ferrugineuse rouge percée de tubes à revêtement jaune 8 cm
- même constituants qu'en 4 mais envahissement de la lame par le fer (+ de gravillons) et tache + riche en fer dans la masse.
  - énormes tartines d'argile (jaune) et d'oxyde de fer (rouge) = phénomène ancien très incorporé au réseau ferrugineux ancien.
  - 1 pore bourré de pâte d'éclats de quartz gris.
  - taches jaunes claires et plages brunes rouges beaucoup plus foncées.
  - les gravillons rouge foncé sont piégés dans une masse ferruginisée à son tour.
  - gros dépôts d'argile dans les pores et un peu entre les agrégats sableux.

#### SAR 71 à 73

- (150 - 175 cm en fait 100 cm = erreur notation avec G1 - G3).
- carapace formée de gravillons associés à des plages ferruginisées plus molles.
- même constituants que 4 et 5 mais le fer a tout envahi.
  - nombreux canalicules bourrés d'argile jaune et quelque fois de pâte de quartz gris.
  - énormes tartines rouge (Sar 72) ou jaune (73) dans les plages claires de l'échantillon.

#### SAR 61 à 63

- (150 - 175 cm = passage au matériau bariolé moins dur)
- disparition des gravillons ferrugineux mais plages rouges, ocres et gros quartz.
  - énormes placages d'argile jaune et rouge.
  - canalicules (= bords d'agrégats) soulignés de rouge et jaune au centre.
  - les bords jaunes ayant été érodés jusqu'au recouvrement rouge on peut admettre que les migrations ne sont pas forcément actuelles.

SAR 81 et 82

- (250 cm = matériau altéré en place, bariolé rouge - ocre - blanc).
- dans la masse rouge ocre existent des canaux (1 - 3 cm de diam.) bourrés de matériaux blancs (purée d'éclats de quartz + pores tartinés d'argile jaune).
  - cette masse rouge et ocre est, elle aussi, traversée de nombreux canalicules soulignés de dépôts rouge et jaune.
  - nombreux pores et beaucoup de recouvrements ; quelques placages bruns (humifères ?).

SAR 91 et 92

- (300 cm : argile bariolée rouge x ocre x blanc)
- décroissance nette des taches de couleur rouge à partir de ces lames.
  - même matériau ferruginisé parcouru de très nombreuses canalicules tapissées d'argile rouge et jaune : gros pores soulignés de dépôts jaune et rouge.
  - plages jaunes et grises = pâte d'éclats de quartz + pores soulignés de revêtements jaunes.
  - plages rouges = beaucoup d'oxyde de fer parcouru de nombreux canalicules + gros quartz.
  - énormes dépôts striés rouges et jaunes.

SAR 101 à 103

- (400 cm : matériau altéré bariolé tendre plus clair)
- même matériau rouge - ocre - blanc.
  - nombreux canalicules bourrés d'argile orangés dans la masse rouge x ocre et gris - jaune dans les plages blanches.
  - même structure et même matériau mais moins riche en fer.

SAR 11 à 114

- (400 cm : idem dans une zone où circule l'argile)
- même matériau, même structure.
  - beaux exemples de dépôts argileux striés rouges et jaunes.
  - nombreux recouvrements argileux dans les pores, quartz ferruginisés.

SAR 121 à 122

(450 cm : idem altération tendre plus claire)

- même matériau, même structure
- gros quartz fendillés, placages argileux rouges et jaunes striés
- nombreux canalicules dans les zones ocre - rouge, très peu en zone blanche.

2 LAMES MINCES DU PROFIL ERLO - PARCELLE DE PROTECTION A SARIA

SAR 131 à 132

(0 - 5 cm horizon gravillonnaire, humifère)

- forte charge en nodules ferrugineux (1 à 10 mm de diam.) englobant des quartz de tailles diverses dans une masse sableuse gris foncé humifère,
- très nombreux pores bien décapés,
- même matériaux qu'en P<sub>7</sub> (gros quartz craquelés, purée de petits quarts anguleux mélangés d'argile humifère et gravillons beaucoup plus nombreux) mais nodules plus nombreux, pâte plus sombre et pores plus nombreux,
- poudre d'épidote,
- zone de départ plutôt que d'accumulation avec quelques zones plus fines due probablement à l'activité de la faune.

SAR 141 à 143

(40 cm : cuirasse feuilletée)

- déjà moins chargé en gravillons mais toute la masse est ferruginisée avec passées brunes humifères.
- nombreux pores et canalicules soulignés de jaune dans les zones rouges.
- sinon même matériaux mais structure ou taches<sup>+</sup> allongées (cuirasse feuilletée).
- déjà de nombreuses canalicules soulignées de jaune.

SAR 151 à 153

(70 cm, cuirasse feuilletée)

- zones rouges ferruginisées irriguée de canaux soulignés de jaune reliant de gros quartz fendillés. Grands pores et canalicules tartinés de rouge et jaune.
- zones plus claires = purée d'éclats de quartz avec canaux recouverts de jaune

- quelques rares nodules ferrugineux.

SAR 161 à 164

(140 cm, cuirasse feuilletée)

- idem même matériaux, même structure, nombreux dépôts jaune et rouge.
- disparition presque totale des nodules ferrugineux.

SAR 171 et 172

(250 cm, bloc d'altérite bariolé rouge, ocre)

- même matériaux mais structure en place disparaît en faveur d'une structure mouchetée de couleur jaune et rouge avec une multitude de canalicules, gros quartz fendillés et beaux dépôts rouge et jaune striés.

140 - 150 - 160 envahissement par le fer

170 ———> 180 baisse de coloration, de + en + et gros quartz.

SAR 181 à 183 bis

(450 cm, altérite friable bariolé rouge ocre et blanc).

- même matériau, mais moins de plages rouges riches en fer, couleurs + jaune et blanc.
- même structure mouchetée très vascularisée autour de gros quartz fendillés.
- nombreux dépôts d'argile jaune - grise à la limite des taches jaunes. gros quartz craquelés et pâte d'éclats de quartz = gros filons blancs.

CONCLUSIONS

- 1) Dans les horizons humifères les pores semblent bien décapés et s'il y a des dépôts ils sont extrêmement minces ou temporaires.
- 2) Par contre il existe des dépôts dans les horizons beige (2) et ocre (3) (sur la cuirasse) qui semblent actuels.
- 3) Dans la cuirasse on trouve des dépôts rouges et jaunes abondants mais on peut se demander s'ils sont actuels ou hérités d'une phase plus humide antérieure.
- 4) Dans la zone d'argile bariolée, on peut aussi observer de nombreux dépôts jaunes qui confirment nos observations de terrain en fin de saison sèche (dépôts d'argile en train de sécher dans des grosses mottes

prélevées vers 3 - 4 mètres et parcourues d'un réseau de mégapores tortueux soulignés de matériaux sablo argileux blanc).

Donc

- l'appauvrissement en fine de l'horizon superficiel ne dépend pas que d'une érosion en nappe sélective mais aussi d'un lointain lessivage ± actuel.
- il existe des transferts considérables d'argile au niveau de la nappe phréatique.

## Annexe 3.

Tableau 1. Résumé mensuel du ruissellement (R % moy. et max.) et de l'érosion totale (kg/ha). SARIA. Campagne 1972.

1972 Mois	Pluie		WISCHMEIER		Culture		ERLO P7 Jachère jeune(2ans)		ERLO Protection Jachère vieille		
	H mm	R <sub>USA</sub>	R % <sup>μ</sup> max.	E kg/ha	R % <sup>μ</sup> max.	E kg/ha	R % <sup>μ</sup> max.	E kg/ha	P H (mm)	R % <sup>μ</sup> max.	E kg/ha
Avril	20,8	1,4	< 20 27	100,0	< 0 0	0	< 0 0	0	32,3	< 0 0	0
Mai	83,6	34,8	< 43 55	1.478,5	< 15 23	625,6	< 4 7	72,4	85,2	< 0,2 0,4	2,3
Juin	144,6	82,9	< 40 58	2.461,4	< 13 40	1.270,8	< 11 29	127,0	150,4	< 1 2	49,7
Juillet	141,1	69,7	< 37 64	5.149,3	< 9 25	760,3	< 6 17	155,8	138,4	< 0,3 1	14,9
Août	178,7	60,8	< 25 61	2.166,9	< 12 37	426,4	< 3 9	47,1	178,6	< 0,2 0,5	12,0
Septembre	82,2	18,8	< 40 69	996,3	< 5 19	43,2	< 2 6	20,0	100,7	< 0,3 1	5,4
Octobre	73,3	26,2	< 31 48	1.415,9	< 7 15	64,4	< 0,5 1	8,6	79,5	< 0,1 0,3	2,0
Résumé annuel 1972	734,3	294,6	< 35 69	13.768,3	< 10 40	3.190,7	< 5 29	430,9	765,1	< 0,4 2	86,3

Tableau 2 Ruissellement (mm et %) , erosion totale (kg/ha) et turbidité (mgr/l) pour chaque pluie unitaire.

SARIA (I.R.A.T.), Campagne 1972

	N°Parcelles	Wisch	Culture	ERLO P <sub>7</sub>	ERLO Prot.	Suite	Wisch	Culture	ERLO P <sub>7</sub>	ERLO prot.
22/23 - 4 - 72 H:12,4+3,1 mm R <sub>USA</sub> : 1,40	R mm R % E kg/ha T mgr/l	4,22 27,2 100-0 2190	0 0 0 0	0 0 0 0	H=27,5 mm 0 0 0 0	10-6-72 2,66 12,3 H=21,7 mm R <sub>USA</sub> =16,36	5090	0,42 1,9 172,8 3505	1,18 5,5 22,2 170	H=23,8 mm 0,38 1,6 15,4 920
18-5-72 H : 7,8 mm R <sub>USA</sub>	R mm R % E kg/ha T mgr/l	0,30 3,8 174,4 2815	0,17 2,1 132,8 3585	0,12 1,5 21,3 1060	H=10,0 mm 0 0 0 0	11-6-12 11,70 51,5 H =22,7 mm R <sub>USA</sub> =20,12	2690	1,22 5,4 224,1 6925	1,18 5,2 17,4 165	H=11,7 mm 0,05 0,4 3,7 580
21-5-72 H : 15,4 mm R <sub>USA</sub> : 6,16	R mm R % E kg/ha T mgr/l	7,56 49,1 388,5 2930	1,39 9,0 109,5 1640	0,42 2,7 19,7 612 *	H=18,2 mm 0 0 0 0	22-6-72 9,96 34,2 H =29,1 mm R <sub>USA</sub> =14,00	1755	1,47 5,0 325,0 8085	8,38 28,8 44,6 345	H=30,4 mm 0,11 0,4 8,4 2975
26-5-72 H : 18,0 mm R <sub>USA</sub> : 9,50	R mm R % E kg/ha T mgr/l	9,96 55,3 474,6 3460	3,33 18,5 177,0 2170	1,18 6,6 17,5 210	H = 7,9 mm 0 0 0 0	25-6-72 3,56 40,9 H = 8,7 mm R <sub>USA</sub> : -	1585	0,29 3,4 95,6 6650	0,12 1,4 12,5 400	H=11,7 mm 0,03 0,2 4,7 640
31-5-72 H : 34,5 mm R <sub>USA</sub> : 19,10	R mm R % E kg/ha T mgr/l	18,06 52,3 441,0 1955	7,80 22,6 206,3 1625	1,18 3,4 13,9 160	H=40,4 mm 0,17 0,4 2,3 340	28-6-72 16,26 54,9 H = 29,6 R <sub>USA</sub> =21,91	1130	11,80 39,9 309,9 1820	4,06 13,7 18,5 110	H=35,3mm 0,70 2,0 12,3 330
1-6-72 H : 5,9 mm R <sub>USA</sub> -	R mm R % E kg/ha T mgr/l	1,46 24,7 78,2 700	0,06 1,1 0 0	0,03 0,5 0,0 * 0	H=12,1 mm 0,03 0,2 3,8 1050					
5-6-72 H : 22,0 mm R <sub>USA</sub> : 10,53	R <sub>R</sub> mm R % E T mgr/l	12,66 57,5 279,7 1530 7/6	3,84 17,4 143,4 1875 bêchage	1,18 5,4 11,8 165	H=18,6mm 0,07 0,4 1,4 940					

Tableau 2 Ruissellement (mm et %), Erosion totale (kg/ha) et turbidité (mgr/l) pour chaque pluie unitaire.

SARIA (I.R.A.T.), campagne 1972

	N° Parcelles	Wisch.	Culture	ERLO P <sub>7</sub>	ERLO Prot.		Wisch.	Culture	ERLO P <sub>7</sub>	ERLO Prot.
2-7-72	R mm R % E kg/ha RUSA : 4,57 T mgr/l	6,96 49,0 267,8 1580	3,50 24,6 123,0 1345 477 engrais	0,16 1,1 11,4 455	H=néant 0 0 0	5-8-72 H = 16,4 mm RUSA = 3,9	3,36 20,5 181,2 1850	0 0 0 0	0,08 0,5 10,9 735	H=19,2mm 0 0 0
11-7-72	R mm R % E kg/ha RUSA : 7,46 T mgr/l	8,06 37,8 194,2 1350	0,29 1,4 162,7 15495	0,16 0,7 6,3 460	H=20,5mm 0 0 0	7-8-72 H = 26,5mm RUSA = 13,91	14,46 54,6 824,3 3798	9,80 37,0 147,6 1255	1,18 4,5 11,8 908	H=33,7mm 0,18 0,5 6,9 2140
14-7-72	R mm R % E kg/ha RUSA : 5,34 T mgr/l	6,96 50,1 964,2 10980	0,25 1,8 72,7 4620	0,16 1,1 18,1 5690	H=18,5mm 0,06 0,3 3,7 0	13-14/8/72 H : 22,8mm RUSA=2,33	4,76 20,9 196,6 3505	0 0 0 0	0,06 0,2 4,6 790	H=24,9mm 0 0 0
18-7-72	R mm R % E kg/ha RUSA : 34,51 T mgr/l	23,46 63,6 3112,7 10835 277binage	6,22 16,9 266,1 2150 2577buttage	6,22 16,9 90,1 1110	H=36,4mm 0,26 0,7 4,5 0	18-8-72 H= 35,4 mm RUSA=24,76	2,96 8,4 213,0 3860	7,80 22,0 235,6 2770	3,34 9,4 11,8 110	H=28,1mm 0,14 0,5 5,1 405
25-7-72	R mm R % E kg/ha RUSA : 2,78 T mgr/l	0 0 0 0	0,25 1,6 17,6 535	0,05 0,3 3,4 770	H=17,9 mm 0,03 0,1 1,7 0	20-8-72 H = 9,6 mm RUSA = 1,80	0,40 4,2 33,7 1600	0 0 0 0	0 0 0 0	H=9,4 mm 0 0 0
27-7-72	R mm R % E kg/ha RUSA : 3,37 T mgr/l	0,05 0,4 126,0 2700	0,13 1,0 51,2 1620	0,08 0,6 14,4 555	H=15,2 mm 0,04 0,2 4,9 0	22-8-72 H = 14,0 mm RUSA = 2,30	3,16 22,6 102,5 1460	0 0 0 0	0,08 0,6 7,4 525	H=13,0 mm 0 0 0
30-7-72	R mm R % E kg/ha RUSA : 11,63 T mgr/l	6,26 34,6 484,4 4875	2,07 11,4 67,0 1565	0,98 5,4 12,1 110	H=néant 0 0 0	24-8-72 H = 4,7 mm RUSA = 3,90	1,36 28,9 29,2 1745	0 0 0 0	0,05 1,0 0,6 465	H=13,9mm 0 0 0

Ruissellement (mm et %), Erosion totale (kg/ha) et turbidité (mgr/l) pour chaque pluie unitaire.

Tableau 2''

SARIA (I.R.A.T.), campagne 1972

	N° Parcelles	Wisch.	Culture	ERLO P <sub>7</sub>	ERLO Prot.	12-9	Wisch.	Culture	ERLO P <sub>7</sub>	ERLO Prot.
24-25/8/72	R mm	2,86	0,42	0,08	0	12-9-72	7,66	2,12	0,18	0,09
	R %	34,5	5,1	1,0	0		69,0	19,1	1,7	0,5
H : 8,3 mm	E kg/ha	73,5	4,1	1,2	0	H = 11,1mm	245,9	19,4	2,6	1,4
R <sub>USA</sub> : -	T mgr/l	1975	730	290	0	R <sub>USA</sub> = 4,32	1730	275	280	220
26-8-72	R mm	7,36	3,33	1,10	0	12-13/9/72	9,06	2,32	0,94	0,14
	R %	61,3	27,7	9,2	0		62,5	16,0	6,5	0,7
H : 12,0 mm	E kg/ha	413,5	39,1	8,3	0	H : 14,5mm	288,8	93,8	4,8	1,2
R <sub>USA</sub> : 4,90	T mgr/l	4290	990	390	0	R <sub>USA</sub> = 5,50	1880	445	330	440
					H=12,2mm		23/9 binage			H=18,7mm
30-8-72	R mm	1,96	0	0,05	0	22-9-72	4,26	0	0,05	0
	R %	17,5	0	0,4	0		28,0	0	0,3	0
H : 11,2 mm	E kg/ha	50,7	0	2,8	0	H : 15,2 mm	182,3	0	4,1	0
R <sub>USA</sub> : 2,97	T mgr/l	1475	0	835	0	R <sub>USA</sub> = 4,08	1095	0	450	0
					H=9,9mm					H=18,0mm
31-8-72	R mm	2,96	0	0,04	0	6-10-72	3,96	1,47	0,08	0
	R %	32,2	0	0,4	0		24,6	9,1	0,5	0
H : 9,2 mm	E kg/ha	48,7	0	0,2	0	H = 16,1 mm	376,1	22,0	2,6	0
R <sub>USA</sub> -	T mgr/l	850	0	440	0	R <sub>USA</sub> = 7,08	3695	280	110	0
					H=7,9 mm					H=15,2mm
1-9-72	R mm	1,76	0	0	0	9-10-72	5,26	0,25	0,07	0
	R %	27,5	0	0	0		31,5	1,5	0,4	0
H : 6,4 mm	E kg/ha	31,7	0	0	0	H = 16,7mm	226,7	8,8	2,0	0
R <sub>USA</sub> : -	T mgr/l	1115	0	0	0	R <sub>USA</sub> = 4,53	945	450	165	0
					H=7,7 mm					H=10,6mm
6-9-72	R mm	4,96	0	0,04	0,09	14-10-72	2,46	0	0,03	0
	R %	25,4	0	0,2	0,5		23,6	0	0,3	0
H : 19,5 mm	E kg/ha	160,1	0	2,	2,8	H = 10,4 mm	72,8	0	1,4	0
R <sub>USA</sub> : 2,93	T mgr/l	1365	0	685	115	R <sub>USA</sub> = 1,96	720	0	220	0
					H=19,9mm					H=14,4 mm
10-9-72	R mm	5,06	0	0,02	0	18-10-72	10,86	3,50	0,19	0,07
	R %	38,6	0	0,02	0		47,6	15,3	0,8	0,3
H : 13,1 mm	E kg/ha	78,5	0	5,6	0	H = 22,8mm	740,3	33,6	2,6	2,0
R <sub>USA</sub> : 1,95	T mgr/l	575	0	615	0	R <sub>USA</sub> = 12,55	1660	510	395	215
					H=14,0 mm					H=27,0 mm

## Annexe 3.

Tableau 3 Résumé mensuel du ruissellement (R% moyen et maxima), et de l'érosion totale (kg/ha). SARIA. Campagne 1973

1973 mois	Pluie		WISCHMEIER		Culture		ERLO P7 Jachère jeune(2ans)		Pluie H (mm)	ERLO Protection Jachère vieille	
	H (mm)	R USA	R% (moy max (mm))	E kg/ha	R% (moy max (mm))	E kg/ha	R% (moy max (mm))	E kg/ha		R % (moy max (mm))	E kg/ha
Avril	18,3	7,9	0,11 mm < 1 1 32,69mm	55,2	0,13 mm < 1 1 6,42 mm	40,1	0,04 mm < 0,2 0,2 0,52 mm	2,3	20,2	< 0 0 0,34 mm	0
Mai	86,3	48,0	< 38 42 3,35mm	2129,4	< 7 15 4,25 mm	599,4	< 0,6 1 0,28 mm	18,1	105,5	< 0,3 0,4 0,19 mm	19,6
Juin	63,6	19,1	< 5 32 150,94mm	411,0	< 7 22 151,12mm	447,8	< 0,4 1 37,33 mm	9,8	72,7	< 0,3 1 1,18 mm	11,4
Juillet	283,5	295,1	< 53 69 52,28mm	27.696,5	< 53 64 13,04mm	4.686,3	< 13 22 1,39mm	140,7	286,7	< 0,4% 1 0,24 mm	59,2
Août	142,7	50,9	37 55 26,54mm	3.480,1	< 9 45 17,35mm	245,3	< 1 5 0,37 mm	17,7	154,8	0,1 1 0,09 mm	13,8
Septembre	78,0	37,1	< 34 54	1.642,0	< 22 44	201,8	0,5 1	5,4	71,3	< 0,1 0,4	2,3
Résumé annuel 1973	677,4	458,1	265,91mm < 39,5 69	35.414,2	191,31mm < 28,6 64	6.220,7	39,93mm < 5,9 22	1.940	711,2	2,04mm < 0,3 1	99,3

Tableau 4 Ruissellement (mm et %), Erosion totale (kg/ha) et turbidité (mgr/l) pour chaque pluie unitaire.  
SARIA campagne 1973

	N°Parcelles	WISCHMEIER	Culture	ERLO P <sub>7</sub>	Protection		WISCHMEIER	Culture	ERLO P <sub>7</sub>	Protection	
19-4-73	R mm	0,11	0,13	0,04	H=20,2 mm	0	2,46	0	0	H=7,7 mm	0
H : 18,3 mm	R %	0,6	0,7	0,2	0	0	6-6-73	0	0	0	0
R <sub>USA</sub> : 7,90	E kg/ha	55,2	40,1	2,3	0	0	H= 7,7 mm	116,6	0	0	0
	T mgr/l	1010	225	335	0	0	R <sub>USA</sub> = -	750	0	0	0
		3/5 binage					8/6 bêchage	labour+tiges	néant		néant
5-5-73	R mm	12,26	1,80	0,32	H=38,6 mm	0,17	0,19	0,17	0,07	H=21,3 mm	0,08
H : 39,1 mm	R %	41,6	4,6	0,8	0,4	0	21-6-73	1,4	1,2	0,5	0,4
R <sub>USA</sub> : 23,30	E kg/ha	1263,8	256,2	8,1	4,0	0	H = 13,7mm	73,4	150,6	3,6	5,4
	T mgr/l	4700	220	110	320	0	R <sub>USA</sub> =4,35	210	370	100	430
							22/6herbicide	22/6semis+engrais			
17-5-73	R mm	2,31	1,80	0,04	H=12,2mm	0	0,70	4,08	0,21	H=19,6mm	0,11
H : 12,0 mm	R %	19,2	15,0	0,3	0	0	27-6-73	3,8	22,0	1,1	0,6
R <sub>USA</sub> : 4,73	E kg/ha	131,5	78,8	3,1	0	0	H=18,5 mm	221,0	297,2	6,2	6,0
	T mgr/l	665	250	165	0	0	R <sub>USA</sub> = 13,18	495	1752	320	275
								28/6resemis			
22-5-73	R mm	1,46	0	0	H=10,8mm	0	0,54	3,35	0,07	H=14,2mm	0,04
H : 4,2 mm	R %	34,8	0	0	0	0	1-7-73	4,0	24,6	0,5	0,3
R <sub>USA</sub> : -	E kg/ha	68,1	0	0	0	0	H= 13,6mm	85,5	90,7	3,1	3,8
	T mgr/l	1340	0	0	0	0	R <sub>USA</sub> = 4,12	165	2556	720	570
30-5-73	R mm	12,66	2,82	0,16	H=43,5mm	0,17	1,16	5,37	0,11	H=14,2mm	0,12
H : 30,7 mm	R %	41,2	9,2	0,5	0,4	0	3-7-73	9,0	41,6	0,9	0,9
R <sub>USA</sub> : 20,00	E kg/ha	666,0	224,3	6,9	9,5	0	H=12,9 mm	78,3	190,6	4,1	4,2
	T mgr/l	2085	595	210	645	0	R <sub>USA</sub> =5,81	420	2165	425	160
H :	R mm						5-7-73	10,14	15,80	1,18	0,24
R <sub>USA</sub>	R %						H =24,6 mm	41,2	64,2	4,8	0,7
	E kg/ha						R <sub>USA</sub> 13,2	694,4	407,1	12,8	6,5
	T mgr/l							1420	1891	301	105
H :	R mm						7-7-73	5,16	4,13	0,07	0,07
R <sub>USA</sub> :	R %						H :9,6 mm	53,8	43,0	0,7	0,5
	E kg/ha						R <sub>USA</sub> = 3,3mm	320,6	154,8	4,2	4,1
	T mgr/l							2152	1407	170	825

Tableau 4' Ruissellement (mm et %), Erosion totale (kg/ha) et turbidité (mgr/l) pour chaque pluie.  
 .SARIA, Campagne 1973.

	N°Parcelles	WISCHMEIER	Culture	ERLO P <sub>7</sub>	ERLO Prot.		WISCHMEIER	Culture	ERLO P <sub>7</sub>	Protection	
15-7-73 H : 29,4 mm R <sub>USA</sub> : 18,60	R mm R % E kg/ha T mgr/l	16,26 55,3 447,0 630	15,80 53,7 263,3 1273	0,22 0,7 5,7 305	0,13 0,5 2,6 59,5	H=27,7mm	10-8-73 H = 20,8mm R <sub>USA</sub> = 5,62	10,86 52,2 229,7 1442	0,23 1,1 20,8 185	0 0 0 0	0 0 0 0
		17/7binage	engrais +repiquage								H=22,7mm
22-7-73 H : 30,2 mm R <sub>USA</sub> : 29,98	R mm R % E kg/ha T mgr/l	9,96 33,0 2415,1 17225	7,80 25,8 524,2 2997	1,54 5,1 17,7 485	0,14 0,5 8,8 540	H=25,9mm	12-8-73 H= 16,3 mm R <sub>USA</sub> = 7,27	8,96 55,0 613,3 3394	0,29 1,8 24,8 205	0,10 0,6 5,5 495	0 0 0 0
											H=20,2mm
24-7-73 H : 97,0 mm R <sub>USA</sub> : 171,14	R mm R % E kg/ha T mgr/l	> 68 > 70 % 21.543,0 28.125	> 61,1 > 63 % 2.385,3 3.455	> 21,34 > 22 % 63,3 188	0,22 0,2 17,5 710	H=95,6mm	15-8-73 H= 12,5 mm R <sub>USA</sub> = 2,41	4,86 38,9 68,9 451	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0
											H=11,5mm
27-7-73 H : 29,9 mm R <sub>USA</sub> : 26,00	R mm R % E kg/ha T mgr/l	20,76 69,4 1026,2 3.160	18,96 63,4 370,0 1.539	5,86 19,6 15,3 105	0,10 0,3 5,5 865	H=29,0mm	17-8-83 H =23,4 mm R <sub>USA</sub> = 12,83	11,76 50,3 1612,5 8.950	2,72 11,6 91,5 1.971	1,06 4,5 3,1 176	0,13 0,5 6,0 595
											H=24,5mm
28-7-73 H : 31,8 mm R <sub>USA</sub> = 23,02	R mm R % E kg/ha T mgr/l	18,96 59,6 1086,4 3.795	19,80 62,3 299,7 1.291	6,94 21,8 14,5 143	0,12 0,4 6,2 630	H=29,6 mm	22-8-73 H= 13,1 mm R <sub>USA</sub> = 3,78mm	4,46 34,0 190,8 1.385	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0
		1/8binage	3/8repiquage				23/8binage engrais+buttage				H=néant
6-8-73 H : 22,0 mm R <sub>USA</sub> : 9,19	R mm R % E kg/ha T mgr/l	4,46 20,3 362,0 5.350	9,80 44,5 108,2 808	0,11 0,5 3,3 165	0,05 0,2 7,8 380	H=22,7mm	27-8-73 H =19,9 mm R <sub>USA</sub> =9,84	3,96 19,9 275,3 2.115	0 0 0 0	0,12 0,6 5,8 370	0 0 0 0
											H=18,3mm
9-8-73 H : 8,4 mm R <sub>USA</sub> : -	R mm R % E kg/ha T mgr/l	2,96 35,2 126,6 1770	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	H=18,0 mm	10-9-73 H=23,6 mm R <sub>USA</sub> = 17,09	12,66 53,6 258,1 515 *	4,01 17,0 27,4 130	0,14 0,6 2,9 110	0,09 0,4 2,3 110
											H=25,9mm

Tableau 4''' Ruissellement (mm et %), érosion totale (kg/ha) et turbidité (mgr/l) pour chaque pluie unitaire.  
 - SARIA, campagne 1973 -

	N°Parcelles	WISCHMEIER	Culture	ERLO P <sub>7</sub>	Protection					
15-9-73 40 H : 17,8 mm R <sub>USA</sub> : 9,96	R	mm	3,66	5,54	0,08	H=18,0mm	0			
	R	%	20,6	31,1	0,5		0			
	E	kg/ha	562,6	45,0	1,8		0			
	T	mgr/l	12.375	135 *	430		0			
21-9-73 42 H : 17,7 mm R <sub>USA</sub> : 9,96	R	mm	8,96	7,80	0,15	H= 11,2mm	0			
	R	%	50,8	44,1	0,9		0			
	E	kg/ha	721,5	129,4	0,7		0			
	T	mgr/l	6.770	1400	105		0			
23-9-73 H : 6,8 mm R <sub>USA</sub> -	R	mm	1,26	0	0	H= 5,6mm	0			
	R	%	18,5	0	0		0			
	E	kg/ha	99,8	0	0		0			
	T	mgr/l	165	0	0		0			
Total/an H : mm R <sub>USA</sub> :	R	mm								
	R	%								
	E	kg/ha	30.652,4	5.800,2	191,9					
	T	mgr/l								
H : mm R <sub>USA</sub> :	R	mm								
	R	%								
	E	kg/ha								
	T	mgr/l								
H : mm R <sub>USA</sub> :	R	mm								
	R	%								
	E	kg/ha								
	T	mgr/l								
H : mm R <sub>USA</sub> :	R	mm								
	R	%								
	E	kg/ha								
	T	mgr/l								

- 111 -

## Annexe 3.

Tableau 5 Résumé mensuel du ruissellement (R% moy. et max.) et de l'érosion totale (kg/ha). SARIA 1974

Sol ferrugineux tropical : [ sur cuirasse à 50 cm.

] [ gravillonnaire dès la surface ]

1974 mois	Pluie		WISCHMEIER		Culture		ERLO P7		Pluie H mm	ERLO Protection	
	H mm	R USA	R % (moy max)	E kg/ha	R% (moy max)	E kg/ha	jeune R% (moy max)	jachère E kg/ha		vieille R% (moy max)	jachère E kg/ha
Mai	54,2	65,0	< 48 55	2.374,2	< 38 44	1.360,7	< 9 10	22,3	58,9	< 1 1	3,9
Juin	69,9	33,0	< 36 67	2.080,4	< 25 54	1.202,5	< 6 9	123,3	72,3	< 1 4	77,6
Juillet	136,3	126,8	< 50 69	6.920,7	< 46 64	4.387,1	< 18 30	150,9	147,0	< 5 7	111,9
Août	226,9	190,5	< 42 64	7.882,3	< 43 84	5.932,1	< 6 18	112,1	213,8	< 4 8	110,9
Septembre	197,6	88,7	< 41 71	7.108,3	< 31 66	1.426,3	< 4 8	67,2	175,0	< 2 8	32,8
Octobre	27,8	8,2	< 26 33	415,5	< 14 24	17,2	< 5 8	5,0	48,7	< 2 4	4,7
Total 1974	717,0	512,2	< 42,3 (302mm) 71	26.781,4	< 36,9 84	14.325,9	< 8,0 30	480,8	707,9	< 3,2 8	341,8

Tableau 6. Ruissellement (mm et %), turbidité (mgr/l) et érosion totale (kg/ha) pour chaque pluie unitaire.

SARIA (I.R.A.T.), campagne 1974

Mai 1974			WISCHMEIER	Culture	ERLO P <sub>7</sub>	Protection	juin 74	WISCHMEIER	Culture	ERLO P <sub>7</sub>	Protection
10-5-74	R mm	26,16	20,80	4,78	0,38	6-6-74	17,16	13,80	1,55	0,38	
	R %	55,3	44,0	10,1	0,8		66,8	53,7	6,0	1,5	
H : 47,3 mm	E kg/ha	2374,4	1360,7	22,3	3,9	H=25,7mm	1365,2	703,8	44,4	23,1	
R <sub>USA</sub> : 65,0	T mgr/l	7600	4650	179	573	R <sub>USA</sub> = 18,7	5275	1600	309	824	
					H=48,8mm	8/6labour	8/6 labour			H=25,3mm	
H :	R mm					15-6-74	0	0	0	0,06	
	R %						0	0	0	1,4	
H :	E kg/ha					H= 4,7 mm	0	0	0	6,9	
R <sub>USA</sub> :	T mgr/l					R <sub>USA</sub> =	0	0	0	747	
5/74	R total mm	26,16	20,80	4,78	0,38	20-6-74	0,09	0,07	0,28	0,13	
	Ru %	48,3	38,4	8,8	0,6		1,5	1,3	4,8	1,9	
H : 54,2 mm	E kg/ha	2374,2	1360,7	22,3	3,9	H= 5,8 mm	125,8	115,3	27,2	13,1	
R <sub>USA</sub> : 65,0	Tu mgr/l	7600	4650	179	573	R <sub>USA</sub> =	897	1150	875	523	
					H=58,9 mm					H=6,9mm	
H :	R mm					27-6-74	4,06	1,80	1,18	0,80	
	R %						22,1	9,9	6,4	4,3	
H :	E kg/ha					H=18,4mm	334,5	272,5	33,3	19,0	
R <sub>USA</sub> :	T mgr/l					R <sub>USA</sub> = 9,3	430	360	280	670	
								29/6 semis + engrais		H=18,5mm	
H :	R mm					30-6-74	4,06	1,80	1,18	0,37	
	R %						32,2	14,3	9,4	3,2	
H :	E kg/ha					H= 12,6	254,9	110,9	17,7	15,5	
R <sub>USA</sub> :	T mgr/l					R <sub>USA</sub> = 5,0	3100	660	570	1389	
										H=11,5mm	
H :	R mm										
R <sub>USA</sub> :	R %										
	E kg/ha										
	T mgr/l										
H :	R mm				6174	R mm	25,37	17,47	4,19	1,74	
	R %					R % u	36,3	25,0	6,0	1,3	
H :	E kg/ha				H= 69,9	E kg/ha	2080,4	1202,5	123,3	77,6	
R <sub>USA</sub> :	T mgr/l				R <sub>USA</sub> = 33,0	T u mgr/l	3640	1306	267	951	
										H= 72,3	

Tableau 6' Ruissellement (mm et %), curbidité (mgr/l) et érosion totale (kg/ha) pour chaque pluie unitaire.  
SARIA (I.R.A.T.), campagne 1974

Juillet 74		WISCHMEIER	Culture	ERLO P <sub>7</sub>	Protection		WISCHMEIER	Culture	ERLO P <sub>7</sub>	Protection
5-7-74	R mm R % H : 22,7 mm R <sub>USA</sub> : 11,4 mm	11,76 51,8 491,9 1300	11,30 49,8 395,7 1750 6/7 resemis	2,86 12,6 37,7 464	H=19,8 mm 1,10 5,6 19,7 632	7/74 H= 136,3 R <sub>USA</sub> = 126,8				H=147,0 mm
8-7-74	R mm R % H : 9,9 mm R <sub>USA</sub> : 2,9	4,16 42,0 282,2 764	2,80 28,3 138,2 634	1,06 10,7 25,9 202	H = 10,0 mm 0,32 3,2 11,5 591	R mm R % E kg/ha T mgr/l.	67,72 49,7 6920,7 8.802	62,61 45,9 4387,1 5 542	24,14 17,7 150,9 196	7,45 5,0 111,9 530
12-7-74	R mm R % H : 10,0 mm R <sub>USA</sub> : 2,8	1,46 14,6 72,2 1.555	0,73 7,3 68,0 115	0,22 2,2 15,2 1.442	H=10,5 mm 0,29 2,7 8,2 890					
15-7-74	R mm R % H : 21,7 R <sub>USA</sub> : 14,3	13,38 61,7 482,8 1210 19/7 binage	13,80 63,6 497,4 2405 binage + engrais	5,38 24,8 35,9 207	H=25,3 mm 1,60 6,3 21,0 510					
24-7-74	R mm R % H : 8,8 mm R <sub>USA</sub> -	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	H=13,3 mm 0,17 1,3 4,2 100					
25-7-74	R mm R % H : 5,8 mm R <sub>USA</sub> : -	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	H=6,0 mm 0,13 2,1 12,7 559					
26-7-74	R mm R % H : 53,8 mm R <sub>USA</sub> : 94,5	36,96 68,7 5591,6 12,350	33,98 63,2 3287,8 8600	16,30 30,3 36,8 100	H=57,6 mm 3,84 6,7 54,6 499					

Tableau 6 ". Ruissellement (mm et %), turbidité (mgr/l.) et érosion totale (kg/ha) pour chaque pluie unitaire.  
SARIA (I.R.A.T), campagne 1974

Août 1974		WISCHMEIER	Culture	Erlo P7	Protection	8/74	WISCHMEIER	Culture	Erlo P7	Protec.
1-8-74	R mm	23,46	23,93	7,90	H=4,1,3mm	26-8-74	1,96	0,85	1,18	H=17,1mm
	R %	54,8	56,0	18,5	8		9,6	4,2	5,8	2,7
H : 42,8 mm	E kg/ha	4275,7	4142,9	48,5	44,8	H= 20,5 mm	129,5	44,0	10,2	17,7
R <sub>USA</sub> : 52,0	T mgr/l	14125	15650	257	253	R <sub>USA</sub> : 94*	1227	117	100	964
3-8-74	R mm	1,76	0,41	0,06	H=13,9mm	28-8-74	1,26	0	0,11	H=8,6mm
	R %	13,5	3,2	0,5	0		12,5	0	1,1	0,2
H : 13,0 mm	E kg/ha	73,0	8,7	7,7	0	H = 10,1mm	70,1	0	3,9	2,9
R <sub>USA</sub> : 4,0 *	T mgr/l	870	187	100	0	R <sub>USA</sub> : 0,8	933	0	100	200
4-8-74	R mm	11,76	20,80	1,37	H=25,7mm					
	R %	47,6	84,2	5,6	4,7					
H : 24,7 mm	E kg/ha	1184,0	1000,5	6,8	10,7					
R <sub>USA</sub> : 9,8	T mgr/l	1888	2935	100	387					
12-8-74	R mm	9,96	7,80	1,18	H=24,9mm	8/74				mm
	R %	44,7	35,0	5,3	3,1					H = 213,8
H : 22,3 mm	E kg/ha	276,0	104,9	9,9	10,3	H=226,9 mm				
R <sub>USA</sub> : 13,0 *	T mgr/l	1135	677	100	167	R <sub>USA</sub> = 190,5				
15-8-74	R mm	27,96	27,80	1,18	H = 35,5mm	R mm	95,04	97,33	14,36	7,75
	R %	64,1	63,8	2,7	3,2	R %	41,9	42,9	6,3	3,6
H : 43,6 mm	E kg/ha	1617,4	429,6	15,8	16,3	E kg/ha	7882,3	5932,1	112,1	110,9
R <sub>USA</sub> : 74,7	T mgr/l	3925	1245	133	276	T mgr/l	5158	5071	192	303
16-8-74	R mm	14,46	13,98	1,18	H = 27,0mm					
	R %	49,7	48,0	4,1	0,74					
H : 29,1 mm	E kg/ha	206,4	187,1	6,4	2,8					
R <sub>USA</sub> : 26,8	T mgr/l	587	1170	203	5,1					
17-8-74	R mm	2,46	1,71	0,20	H = 3,9 mm					
	R %	61,5	42,8	5,1	0,11					
H : 4,0 mm	E kg/ha	50,2	14,4	2,9	2,8					
R <sub>USA</sub> : -	T mgr/l	816	470	133	3,1					
		19/8 binage	19/8 binage		250					
					H = binage					

Tableau 6'''' Ruissellement (mm et %), turbidité (mgr/l) et érosion totale (kg/ha) pour chaque pluie unitaire.  
SARIA (I.R.A.T.), campagne 1974

Septembre 74		WISCHMEIER	Culture	Erlo P7	Protéc.	9/74	WISCHMEIER	Culture	Erlo P7	Protéc.
2-9-74	R mm	5,16	0,37	1,31	0,40	27-9-74	1,36	3,53	0,54	0,33
	R %	24,3	1,7	6,2	2,2		9,9	25,8	4,0	2,2
H : 21,2 mm	E kg/ha	390,0	26,9	17,4	9,5	H = 13,7	153,9	20,3	4,4	2,9
R <sub>USA</sub> : 13,9	T mgr/l	4758	185	141	240	R <sub>USA</sub> : 5,7	288	235	100	H = 14,6 100
6-9-74	R mm	6,46	3,80	1,18	0,38					
	R %	24,4	14,3	4,5	1,5					
H : 26,5 mm	E kg/ha	372,7	37,6	7,5	4,4					
R <sub>USA</sub> : 3,8	T mgr/l	4525	201	227	152					
12-9-74	R mm	12,66	6,30	1,30	0,36	9/74				
	R %	45,5	22,7	4,7	1,1					
H : 27,8+4,8mm	E kg/ha	558,5	62,1	9,5	2,7	H=197,6mm				H= 175,0 mm
R <sub>USA</sub> : 14,9	T mgr/l	3542	768	100	100	R <sub>USA</sub> =88,7				
13-9-74	R mm	18,96	17,80	1,33	0,54	R mm	80,88	61,40	8,52	4,45
	R %	53,7	50,4	3,8	2,4	R %	40,9	31,1	4,3	2,5
H : 35,3 mm	E kg/ha	2001,4	1024,1	12,3	2,7	E kg/ha	7108,3	1426,3	67,2	32,8
R <sub>USA</sub> : 15,5	t mgr/l	9000	5550	54	110	T mgr/l	7248	2102	110	135
15-9-74	R mm	21,66	17,80	1,44	1,25					
	R %	66,4	54,6	4,4	4,0					
H : 32,6	E kg/ha	2490,1	167,9	9,8	5,5					
R <sub>USA</sub> : 24,2	T mgr/l	10250	897	73	115					
17-9-74	R mm	12,66	11,80	1,42	1,19					
	R %	71,1	66,3	8,0	8,2					
H : 7,3+17,8mm	E kg/ha	1113,7	87,4	6,3	5,1					
R <sub>USA</sub> : 8,9	T mgr/l	7375	661	100	141					
22-9-74	R mm	1,96	0	0	0					
	R %	18,5	0	0	0					
H : 10,6 mm	E kg/ha	28,1	0	0	0					
R <sub>USA</sub> : 1,8	T mgr/l	619	0	0	0					

Tableau 6'''' Ruissellement (mm et %), turbidité (mgr/l), et érosion totale (kg/ha) pour chaque pluie unitaire.

SARIA (I.R.A.T.), campagne 1974.

* Octobre 74		WISCHMEIER	Culture	Erlo P7	Protect.				
2-10-74	R mm	5,26	3,80	1,27	19,5 mm	0,74			
	R %	32,9	23,8	7,9	19,5 mm	3,8			
H : 16,0	E kg/ha	212,4	17,2	5,0	H = 113	3,0			
R USA : 8,2	T mgr/l	2670	325	100					
3-10-74	R mm	0,57	0	0	H=10,7 mm	0,16			
	R %	12,4	0	0		1,5			
H : 4,6 mm	E kg/ha	62,5	0	0		1,7			
R USA : -	T mgr/l	290	0	0		186			
9-10-74	R mm	1,21	0	0	H=6,6 mm	0			
	R %	19,8	0	0		0			
H : 6,1 mm	E kg/ha	140,6	0	0		0			
R USA : -	T mgr/l	1818	0	0		0			
	R mm								
H : mm	R %								
R USA :	E kg/ha								
	T mgr/l								
10/74	R mm	7,04	3,80	1,27	H=48,7	0,90			
	R %	25,9	14,0	4,7		1,8			
H : 27,2 mm	E kg/ha	415,5	17,2	5,0		4,7			
R USA : 8,2	T mgr/l	2331	325	100		126			
Total annuel	R mm	302,21	263,41	57,26		22,67			
	R %	42,3	36,9	8,0		3,2			
H : 714 mm	E kg/ha	26.781,4	14.325,9	480,8		341,8			
R USA : 512,2	T mgr/l	6.552	3.650	184		384			
	S/E %	74 %	67 %	22 %	717,9	25 %			

Tableau 7. Traitements aux parcelles d'érosion de SARIA en 1974.

WISCHMEIER	Culture P7 Erosion et SDVA	P7 ERLO	Protect.	Culture Prot. DV
4/5/74 binage et rateau 8/6 bêchage + rateau	8/6 bêchage + enfouissement pailles 29/6 engrais et semis	25/5/74 fauche complète et expor- tation de toute l'herbe	23/5/74 fauche des herbes de la parcelle	8/6 bêchage et enfouissement pailles 29/6 binage, engrais, semis
19/7 binage + ratissage	6/7 resemis 19/7 binage puis engrais 25/7 démarriage à 3 plants			6/7 resemis PDVA 19/7 engrais + binage
19/8 binage	19/8 binage		-	19/8 binage PDVA 29/8 engrais + buttage
24/9 binage				

Tableau 8' Résumé mensuel du drainage vertical (mm). SARIA. Campagne 1974.

Végétation	ERLO P7 = S D V								ERLO Protection = P D V							
	Culture : Sorgho				Jachère : Savane				Jachère : Savane				Culture : Sorgho			
N°	1	2	3	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15	16	17	18
Mai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Juin	0	3,2	5,2	1,4	3,4	5,9	0	0	6,4	0,4	1,1	1,3	0	0,3	1,3	0
Juillet	35,0	43,2	67,9	67,0	21,4	19,3	17,2	9,5	51,3	10,6	23,9	1,1	85,0	80,6	67,8	1,3
Août	67,3	88,6	95,7	101,1	120,4	96,4	126,5	122,1	77,9	107,6	81,3	57,4	103,1	92,8	80,1	13,1
Septembre	35,0 <sup>*</sup>	35,0 <sup>*</sup>	35,0 <sup>*</sup>	35,0 <sup>*</sup>	0,4 <sup>*</sup> + 27,6	1,2 <sup>*</sup> + 70,5	14,8 <sup>*</sup> + 47,0	13,8 <sup>*</sup> + 13,0	25,9	72,6	46,5	12,8	45,5	36,4	25,6	0
Octobre	1,6	0,6	1,9	0,7	+	+	+	+	0,3	1,2	0	8,5	0,8	0	5,3	4,5
Total 1974 Ruiss. "	138,9 264,2	170,6 264,2	205,7 264,2	205,2 264,2	173,2 57,1	193,3 57,1	205,5 57,1	158,4 57,1	161,8 21,4	192,4 21,4	152,8 21,4	81,1 21,4	234,4 107,1	210,1 107,1	180,1 107,1	(18,9) 107,1
D.V. corrigé	mm 0 %	0 -	0 -	0 -	116,1 16,2%	136,2 19,1%	148,4 20,8%	101,3 14,2%	140,4 19,7%	171,0 23,9%	131,4 18,4	59,7 8,4%	127,3 17,8%	103,0 14,4%	73,0 10,2%	0 -

\* 35 mm en fonction de culture sous protection a SDV 1 à 4 suspendus car remontée de la nappe du 13/9 à 24/10/74.

+ SDV 5 à 8 suspendus car envahis par remontée de la nappe du 12/9 au 31/10/74.

Annexe 3.

Tableau 9'. Les principales manifestations du drainage oblique en relation avec différents facteurs susceptibles d'en modifier l'importance.

Volume de drainage oblique recueilli en litres.

	Hauteur pluie (mm)	Intensité I <sub>max</sub> 30' mm/h	Pluie 10 jours précédents	Hauteur nappe cm	S <sub>1</sub> 25 cm gris + beige	S <sub>2</sub> 45 cm brun jaune	S <sub>3</sub> 65 cm grav. gris sommet	S <sub>4</sub> 100 cm dans carapace	S <sub>5</sub> 150 cm bariolé rouge-ocre	S <sub>6</sub> 200 cm bariolé rouge-ocre blanc
24/7/73	97,0	100	60	405	pas* branché	> 60	> 60	débr*	débr*	> 25,0
27/7	30,0	53	127	292	"	9,32	22,0	2,93	0,24	6,7
28/7	31,8	47	127	220**	"	8,0	25,0	2,50	2,28	18,96
18/8	23,4	36	57	225**	0	16,00	11,52	2,0	0	0
						>93,32	>18,52	7,43	2,52	50,66
										Total 272,5
10/5/74	47,3	76	0	409	13,42	> 60	28,0	0	27,0	37,0
26/7	53,8	98	18	448	13,64	4,56	20,0	5,38	3,18	0,82
2/8	42,8	71	68	416	5,67	?*	4,37	0,63	0	0
4/8	24,7	30	115	345	10,09	3,0	9,36	2,55	0	0
12/8	22,3	*	46	381	4,49	0,21	4,60	0	0	0
15/8	43,6	90	31	2,94**	23,10	38,2	49,8	17,4	>60	> 60
16/8	29,1	56	75	2,47**	16,30	54,0	14,0	19,0	11,0	28,20
27/8	20,5	7	41	3,28	2,00	18,0	20,48	0,48	9,64	0
2/9	21,2	41	36	3,41	2,12	24,0	21,63	2,00	27,43	24,00
6/9	26,5	15	52	337	0,32	11,92	11,34	0,60	13,34	22,30
12/9	32,6	37	48	301	1,52	14,46	14,0	0,65	20,6	30,34
13/9	35,3	33	59	217**	7,0	33,14	52,0	7,0	0,5	> 60,0
15/9	32,6	49	94	206**	X	X	X	X	X	X
					nappe	phréatique	trop haute			
					99,67	>261,49	249,58	55,69	172,69	262,66
										Total 1101,78 litres

Note : Hauteur de l'averse, son intensité en 30 minutes et l'humidité du sol interviennent pour définir l'importance des écoulements, mais aucun des 3 facteurs n'est indispensable.

\*\* La nappe phréatique n'intervient que pendant de courts épisodes.

\* Incident technique (débranché ou débordé)

Tableau 10'. Mesures du niveau de la nappe au puits n° 1. P7

STATION : SARIA

ANNEE : 1974

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1							4,43	4,16	3,37	2,05		
2							4,43	3,59	3,41	2,01		
3							4,45	3,73	3,38	2,05		
4					4,48		4,46	3,45	3,31	2,10		
5							4,47	3,36	3,34	2,12		
6						4,56	4,34	3,42	3,37	2,16		
7						4,48	4,33	3,53	3,22	2,19		
8						4,41	4,38	3,60	3,17	2,23		
9			4,40			4,41	4,37	3,66	3,19	2,26		
10						4,44	4,39	3,72	3,22	2,30		
Total												
11					4,09	4,46	4,42	3,79	3,26	2,34		
12						4,47	4,43	3,81	3,01	2,37		
13						4,48	4,44	3,70	2,17	2,39		
14					4,30	4,50	4,45	3,74	2,06	2,42		
15						4,51	4,33	2,94	2,06	2,45		
16						4,52	4,24	2,47	1,46	2,48		
17						4,53	4,30	2,48	1,34	2,51		
18						4,54	4,34	2,60	1,20	2,55		
19						4,55	4,36	2,71	1,29	2,58		
20						4,55	4,39	2,82	1,40	2,60		
Total												
21						4,50	4,41	2,93	1,40	2,63		
22					4,35	4,50	4,43	3,01	1,58	2,67		
23					4,42	4,51	4,46	3,09	1,67	2,69		
24					4,44	4,53	4,46	3,15	1,73	2,72		
25					4,46	4,54	4,47	3,21	1,79	2,76		
26					4,46	4,55	4,48	3,28	1,85	2,80		
27				4,50	4,48	4,55	3,87	3,24	1,91	2,83		
28					4,49	4,52	3,93	3,25	1,93	2,86		
29					4,49	4,48	4,03	3,27	1,96			
30					4,50	4,46	4,08	3,29	2,01			
31					4,51		4,10	3,32		2,97		

PRECIPITATIONS JOURNALIERES

Annexe 3

STATION : SARIA - P<sub>7</sub>

ANNEE : 1974

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1								42,8				
2									21,2	16,0		
3								13,0		4,6		
4								24,7				
5							22,7					
6						25,7			26,5	0,8		
7												
8							9,9					
9			0,8							6,1		
10					47,3			8,7		0,3		
Total	0	0	0,8	0	47,3	25,7	32,6	89,2	47,7	27,8	0	0
11												
12							10,0	22,3	32,6			
13					5,8	1,9			35,3			
14												
15						4,7	21,7	43,6	32,6			
16								29,1				
17								4,0	25,1			
18						0,8						
19												
20						5,8						
Total	0	0	0	0	5,8	13,2	31,7	99,0	125,6	0	0	0
21					1,1		0					
22							3,6	3,0	10,6			
23								3,0				
24							8,8	2,1				
25							5,8					
26							53,8	20,5				
27				0,5		18,4			13,7			
28								10,1				
29												
30						12,6						
31												
Total	0	0	0	0,5	1,1	31,0	72,0	38,7	24,3	0	0	0
Totaux	0	0	0,8	0,5	54,2	69,9	136,3	226,9	197,6	27,8	0	0

Total 714,0 mm

Annexe 3

PRECIPITATIONS JOURNALIERES

STATION : SARIA

Protection ANNEE : 1974

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1								41,3				
2									18,5	19,5		
3								13,9		10,7		
4								25,7				
5							19,8					
6						25,3			24,7	1,7		
7												
8							10,0					
9			1,7							6,6		
10					48,8			6,9		0,2		
Total	0	0	1,7	0	48,8	25,3	29,8	87,8	43,2	38,7	0	0
11												
12							10,5	24,9	32,0			
13					9,8	2,3			22,9			
14												
15						7,3	25,3	35,0	30,9			
16								27,0				
17								3,9	21,5			
18						0,5						
19												
20						6,9						
Total	0	0	0	0	9,8	17,0	35,8	90,8	107,3	0	0	0
21					0,3		0,9					
22							3,6	3,2	9,9			
23								3,3				
24							13,3	3,0				
25							6,0					
26							57,6	17,1				
27				0,5		18,5			14,6			
28								8,6				
29												
30						11,5						
31												
Total	0	0	0	0,5	0,3	30,0	81,4	35,2	24,5	0	0	0
Totaux	0	0	1,7	0,5	58,9	72,3	147,0	213,8	175,0	38,7	0	0

Total 707,9 mm