

# DYNAMIQUE ACTUELLE DE SOLS FERRALLITIQUES ET FERRUGINEUX TROPICAUX D'AFRIQUE OCCIDENTALE

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES TRANSFERTS HYDROLOGIQUES ET BIOLOGIQUES  
DE MATIÈRES SOUS VÉGÉTATIONS NATURELLES OU CULTIVÉES

## RÉSUMÉ

par Eric ROOSE

### INTRODUCTION.

En Afrique occidentale des surfaces importantes du vieux continent sont enfouies sous une couverture pédologique kaolinique, monotone du point de vue minéralogique. Ces couvertures sont très anciennes puisqu'il faut 20.000 à 100.000 ans, selon les auteurs, pour que se réalise la kaolinisation complète d'un mètre de granite. Or actuellement, le fonctionnement de la partie supérieure des profils pédologiques (ainsi d'ailleurs que le paysage tout entier) est en relation étroite avec le bioclimat. En particulier, les profils des sols ferrallitiques sont homogènes et le drainage vertical est abondant dans la zone forestière sub-équatoriale de la basse Côte d'Ivoire. Par contre, les profils des sols ferrugineux tropicaux sont contrastés, le drainage profond est réduit et le ruissellement important dans la zone des savanes soudano-sahéliennes à climat tropical sec du centre de la Haute-Volta. De plus, des enquêtes ont montré que l'aménagement à des fins agricoles de ces sols tropicaux entraîne des modifications profondes des matières organiques et de la structure, de la dynamique de l'eau et des transferts de matières. Sans vouloir nier l'importance de l'héritage historique sur la maturation de l'épaisse couverture pédologique, une démarche expérimentale a été tentée sur le terrain, visant à quantifier les différents éléments du bilan de matières (eau, solubles, solides) en milieu naturel ou cultivé, dans le but de préciser l'influence du bioclimat et de l'homme sur la dynamique actuelle de la partie supérieure du profil, la plus sensible aux modifications extérieures.

Les résultats de cette étude sont présentés dans quatre parties :

- I - Caractères généraux du milieu, des sols et des dispositifs expérimentaux.
- II - Phénomènes d'érosion : étude quantitative des causes et des facteurs de l'érosion.
- III - Les bilans de matière : l'eau, les solubles, les solides.
- IV - Interprétation générale : le rôle de la végétation, du climat et de l'homme.

Dans les pages qui suivent, seront résumés les principaux résultats de cette étude.

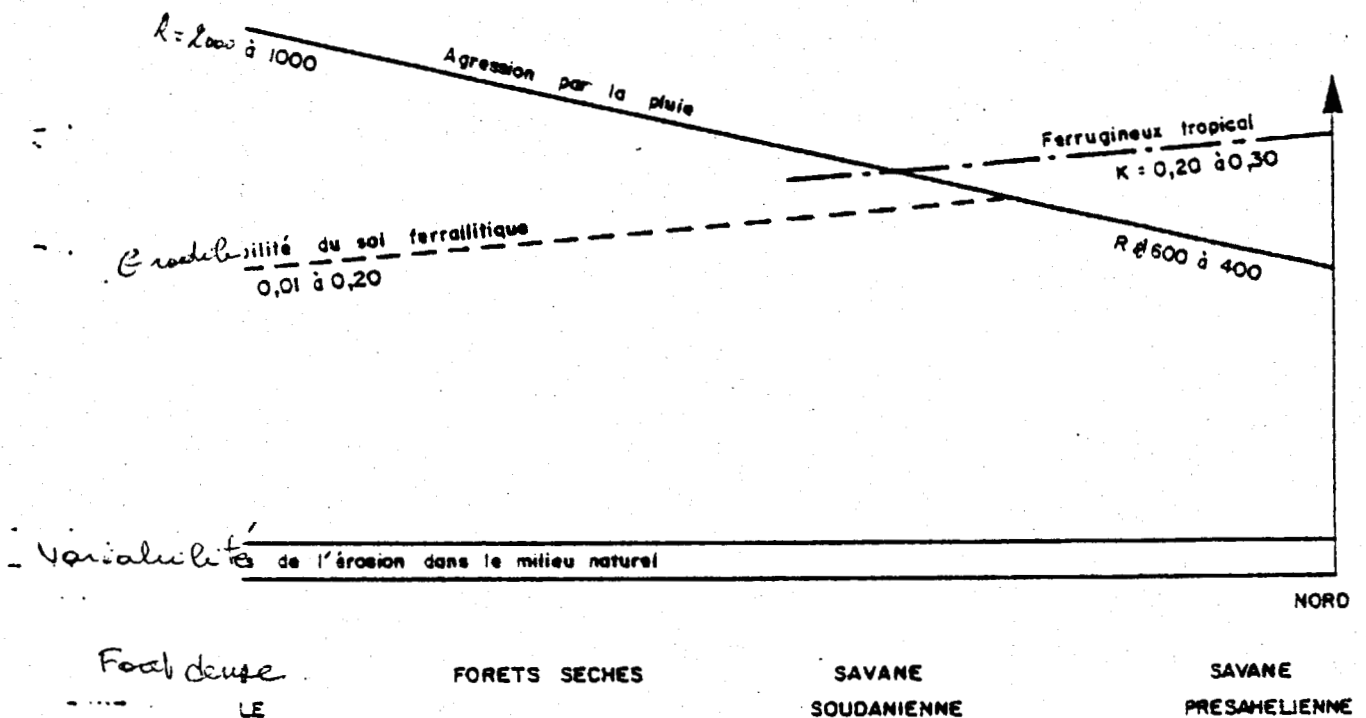
### I. LES CARACTÈRES GÉNÉRAUX DU MILIEU, DES SOLS ET DES DISPOSITIFS

=====

Pour appréhender la dynamique actuelle des profils en fonction des circonstances, l'analyse chimico-minéralogique de colonnes de sol ne convient pas, car elle intègre le facteur temps. On a donc envisagé des mesures continues sur le terrain des processus pédogénétiques pour préciser chaque terme du bilan de matière dans des conditions expérimentales les plus différentes possibles du point de vue :

- de la végétation : de la forêt dense à différents types de savane et de cultures (et même le sol nu) ;
- du climat : du pôle subéquatorial au pôle tropical sec, les précipitations annuelles diminuent de 2100 à 700 mm, l'ETP augmente de 1250 à 1900 mm. Les températures maximales augmentent, ainsi que la durée et la sévérité de la

## DE LA REPONSE DES PARCELLES A L'AGRESSIVITE DES PLUIES FONCTION DU CLIMAT, DU SOL ET DE LA VEGETATION



### INFLUENCE DES FACTEURS CONDITIONNELS

- Couvert végétal 1 à 1/1000
- Pente 0,1 à 5 (20 except.)
- Erodibilité sol 0,01 à 0,30
- Techniques culturales anti-érosives 1 à 0,1

L'érosion reste à peu près constante en milieu naturel depuis la forêt dense jusqu'aux savanes présahariennes protégées des feux, car l'agressivité des pluies diminue alors que l'érodibilité des sols augmente. Par contre en milieu aménagé, l'érosion varie beaucoup plus.

saison sèche. L'agressivité des pluies diminue, mais celle de la chaleur desséchante augmente ;

- du paysage : l'inclinaison des versants diminue, mais leur longueur augmente ;

- des sols : les sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux étudiés sont kaoliniques, riches en sables quartzeux, lixiviés en bases et appauvris en particules fines dans les horizons superficiels, mais les teneurs en matières organiques, la macroporosité et la structure diminuent de la zone forestière à la zone la plus sèche, de même que sous cultures sarclées ;

- des roches mères : des granito-gneiss en majorité, mais aussi des schistes chloriteux et des sédiments argilo-sableux tertiaires dans la région forestière.

Pour évaluer les mouvements de l'eau et de ce qu'elle transporte, les observations ont été effectuées sur des petites parcelles homogènes, à l'aide de dispositifs respectant le mieux possible l'architecture de la porosité des sols tels que les cases d'érosion, les parcelles de lessivage oblique et les lysimètres monolithiques.

Parallèlement furent observées les remontées de terre fine par les vers et les termites et la production végétale des savanes, les précipitations et le pluviollessivage.

Plutôt que des mesures très précises de laboratoire sur échantillons remaniés ou des mesures de terrain limitées dans le temps, on a procédé à un grand nombre d'observations tout au long de nombreux cycles saisonniers (4 à 11 années) sur de petites parcelles situées à mi-versant, lesquelles représentent mieux la dynamique actuelle que les sols des sommets (influence importante de l'héritage) ou des bas-fonds (hydromorphie et colluvionnement). De très nombreuses analyses d'eau, de sols et de végétaux ont été réalisées sur place au laboratoire central de l'ORSTOM à Adiopodoumé.

## II. ANALYSE QUANTITATIVE DES PHENOMENES D'EROSION

=====

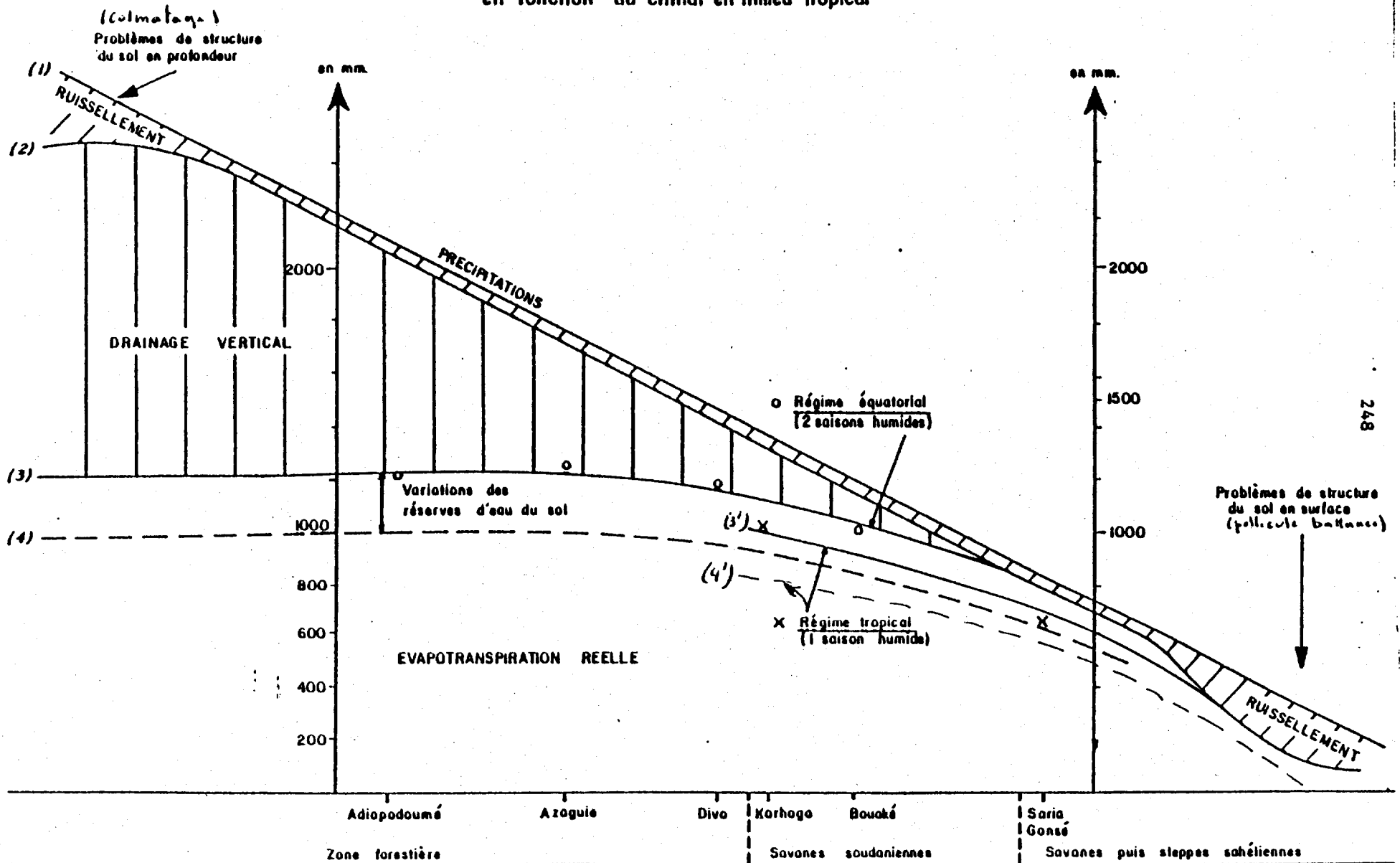
Il s'agit exclusivement de l'érosion en nappe et en rigole à l'échelle de la parcelle.

Sous végétation naturelle, le ruissellement et l'érosion sont très limités tant que le sol est bien couvert, et les variations interannuelles sont aussi importantes que les différences observées entre le milieu forestier et les savanes soudaniennes. Les phénomènes d'érosion ne deviennent notables que dans les steppes sahéliennes à couverture végétale discontinue (max. dans les zones de 400 à 700 mm de pluie). Les feux de brousse (surtout tardifs) modifient fortement la couverture végétale et sont susceptibles d'augmenter sérieusement les risques d'érosion.

En milieu cultivé, on peut observer de grandes différences d'érosion en fonction du type de culture ; comme les pluies sont très agressives (3 à 50 fois plus en Afrique de l'Ouest qu'en milieu tempéré), l'influence du couvert végétal sera très marquée sur les équilibres biologiques, les bilans hydriques, chimiques et colloïdaux ainsi que sur la structure du sol. Tout transport de terre nécessite une source d'énergie. Dans les paysages ondulés du vieux bouclier africain, la cause première de l'érosion est l'énergie des gouttes de pluie qui disperse les particules formant les agrégats et les mottes ; le ruissellement n'est qu'un agent de transport, mais à mesure que la pente des versants

Fig : 69

EVOLUTION DU BILAN HYDRIQUE SOUS VEGETATION NATURELLE  
en fonction du climat en milieu tropical



248

augmente, son apport d'énergie croît et la forme que prend l'érosion passe de la nappe à la rigole ou la ravine. L'analyse des résultats à l'aide de l'équation de WISCHMEIER et SMITH (1960) montre l'ordre d'importance des facteurs conditionnels : le couvert végétal peut modifier l'érosion de 1 à 1/1000, la pente de 0,1 à 5 (rarement 20), l'érodibilité du sol de 1/3 à 1/100 et les techniques antiérosives de 1 à 1/10. Les pertes en terre représentent le produit de l'agressivité des pluies par les 4 facteurs de résistance du milieu et non leur somme, car si l'un d'eux s'annule, l'érosion tend effectivement vers zéro : on doit en tenir compte pour organiser la lutte anti-érosive et choisir une combinaison des facteurs les plus efficaces (méthodes biologiques).

La comparaison des transports liquides et solides à l'échelle de la parcelle et des bassins versants de différentes tailles est délicate à cause de l'influence majeure du couvert végétal : chaque échelle d'observation a son intérêt pour des buts différents.

### III. LE BILAN HYDRIQUE

=====

Les précipitations, le ruissellement, le drainage et les variations saisonnières du profil hydrique ont été mesurés sur le terrain pendant 4 à 11 ans. Puis, pour généraliser le bilan aux cas des années normales, décennales sèches ou humides, on a appliqué la méthode de Thorntwaite modifiée.

- Tant que l'ETP est supérieur à la pluie (saison sèche),  $ETR = \text{Pluie} - \text{Ruiss.}$
- En saison humide, ETR tend vers ETP (du moins en milieu naturel) et  $\text{Drain} = \text{Pluie} - (\text{Ruiss.} + \text{ETP})$ .
- On ajoute ensuite à l'ETR brut, la variation saisonnière du stock d'humidité du sol (mesurée au champ) et on la soustrait du drainage brut. Le drainage vertical profond ainsi calculé est estimé par défaut.

Le drainage profond en année normale passe de 40-45 % sous forêt dense subéquatoriale, à 25-35 % sous savane soudanienne et tend à s'annuler au pôle sahélien ; à ce pôle sec, où les pluies sont généralement inférieures à 700 mm, le front d'humectation du sol ne dépasse pas chaque année 50 cm de profondeur, tant le pouvoir évaporant de l'air et le ruissellement superficiel sont élevés. En revanche, au pôle humide, l'ETP est limitée à 1250 mm de telle sorte qu'une masse d'eau considérable est disponible pour percoler à travers le profil jusqu'à la nappe phréatique (ou pour ruisseler si la surface du sol est dégradée). L'influence de la roche mère et de la topographie sur ce bilan est assez complexe. Par contre, le rôle de la végétation est important et d'autant plus important que le climat est sec. La forêt évapotranspire 150 à 200 mm de plus que les autres couverts végétaux, car elle dessèche le sol plus profondément. Elle modifie surtout la charge solide des eaux et la répartition des écoulements dans l'année : plus la végétation est dense, plus l'écoulement retardé (le plus utile) est favorisé et les écoulements de pointe (les plus dangereux pour l'érosion) sont laminés. Les résultats montrent enfin qu'on ne peut négliger le ruissellement dans les modèles d'estimation du bilan hydrique : il varie de 1 % en milieu naturel à plus de 40 % sous culture sarclée.

### IV. LA CHARGE SOLUBLE DES EAUX

=====

Dans la séquence étudiée, la charge soluble des eaux superficielles varie plus en fonction du volume des écoulements et des saisons qu'en fonction des stations elles-mêmes. La tendance à la dilution en milieu humide est compensée par des apports atmosphériques croissants (proximité de l'océan et de la

forêt) et par une activité biologique plus poussée : seule la silice des eaux de nappe augmente nettement avec l'aridité du milieu. Les eaux de pluie se chargent au contact des végétaux (surtout des arbres) et des couches humifères du sol, puis se déchargent avant d'atteindre la nappe phréatique : seuls la silice et le sodium, qui ne sont pas piégés par les végétaux, présentent des teneurs croissantes jusqu'aux sources.

L'influence de la roche mère sur la charge soluble des eaux superficielles est réduite, car il ne reste pratiquement pas de minéraux altérables dans les horizons traversés. La kaolinite est stable, le quartz est soluble dans certaines circonstances au sein des horizons superficiels, mais pas dans la zone d'altération ; les sesquioxides migrent principalement sous forme colloïdale ou particulaire.

L'aménagement du milieu naturel (défrichement, feu, fertilisation) peut modifier considérablement la charge soluble des eaux superficielles, en changeant l'équilibre entre l'offre (minéralisation des matières organiques et engrais) et la demande d'éléments nutritifs (fixation par le sol et besoins des plantes). Il en résulte des risques de lixiviation des éléments les plus solubles (N, Ca, Mg, K, Na, Cl, SO<sub>4</sub>) et une tendance à l'acidification des sols soumis à une fertilisation intense, trop souvent incomplète. Les risques de pollution des nappes sont cependant réduits tant que les apports ne dépassent pas les besoins des plantes, ni la capacité de fixation du sol (fractionnement) et qu'ils sont effectués en dehors des périodes les plus humides de l'année. L'azote et les bases sont très mobiles alors que le phosphore est rapidement insolubilisé par le fer et l'alumine libres, abondants dans les sols tropicaux. Le potassium est très mobile dans les sols kaoliniques, tandis qu'il est rapidement rétrogradé dans les sols riches en argiles 2/1.

La composition chimique des eaux superficielles dépend donc surtout des phénomènes biochimiques et de l'aménagement du milieu par l'homme, tandis qu'au niveau de la nappe, elle est contrôlée par les lois d'équilibre physico-chimique entre les minéraux et les solutions.

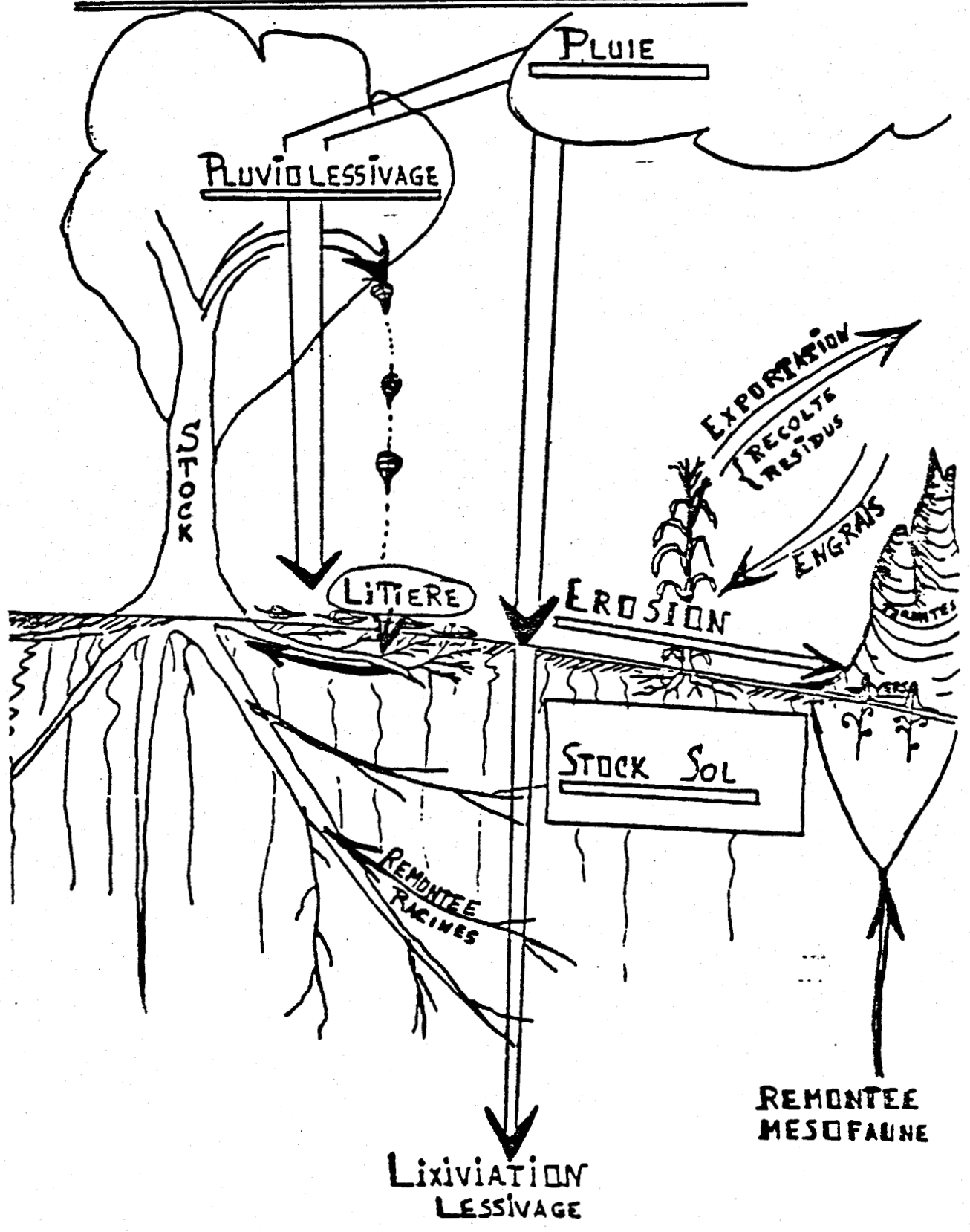
## V. BILANS GEOCHIMIQUES DE L'EVOLUTION

=====

Dans le milieu naturel, le bilan n'est équilibré que grâce aux apports atmosphériques et au recyclage rapide des éléments concentrés à la surface du sol par diverses activités biologiques (pluiolessivage, minéralisation des litières, remontées par la flore et la mésofaune). Qu'un processus quelconque interrompe la chaîne biologique et la productivité végétale diminue, tandis que les horizons superficiels du sol se dégradent. Ainsi, lorsque le feu parcourt régulièrement la savane, il empêche la régénération des arbres, abîme les touffes d'herbes, réduit la variabilité végétale : finalement le taux de matières organiques du sol diminue, tandis que sa compaction et son érodibilité augmentent.

L'arbre joue en quelque sorte le rôle du "bas de laine" pour accumuler les substances nutritives disponibles : sa destruction entraîne nécessairement une certaine dégradation du milieu, mais celle-ci peut être plus ou moins rapide et profonde en fonction de la brutalité des techniques de défrichement et du mode d'exploitation. En définitive, ce milieu tropical, où les minéraux altérables sont profondément enfouis sous la couverture kaolinique, est très fragile et difficile à mettre en valeur à cause de l'agressivité climatique ; de fortes pluies succédant à de fortes chaleurs, les matières organiques sont rapidement minéralisées laissant un substrat pédologique pauvre chimiquement et fragile dans ses structures. L'exploitation agricole exige des apports

# SCHEMA DE BILAN GEOCHIMIQUE



## RÉSUMÉ DES BILANS GÉOCHIMIQUES

	APPORTS			PERTES						Total		STOCKS		CYCLES INTERNES		
	PLUIE	ENGRAIS	REN. Biol.	Érosion	Ruiss.	DRAIN	EXTRA	Kg/ha/an	% sol.	VEGETAL	SOL 3.0m	LITIÈRE	REMONTES fovee	Pluviolossivité en t da 2		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
Adiopo. forêt	322	0	+++	50	7,5	642	0	704	93	510 t	C 45.760 N 4.279 P 81 K 66	C - N 218 P 10 K 59	4000	545		
Adiopo. Maïs	322	N 120 P 20 K 36	+	90.000	32,7	642	C 1200 N 54 P 9 K 12	90.969	41%	0	C 23.310 N 2.310 P 313 K 70	C 2400 N 48 P 13 K 54	0	?		
KORHOGO SAVANE	173	0	++	100	12	143	fovee	255	61%	P.M.	C 22.300 N 1200 P 57 K 173	C 2600 N 10 P 2 K 15	5000	170		
GONSE SAVANE	118	0	++	150	4,6	7	fovee	162	7%	P.M.	C 21.400 N 1450 P 83 K 116	C 2.200 N 15 P 3 K 24	C 18 N 1 P 0,1 K 1	70		

Note - Les colloïdes Lessivés par les eaux de drainage ne sont pas comptabilisés dans la colonne 9 (% de solubles)



minéraux et organiques réguliers pour compenser les pertes de nutriments (exportation par les récoltes, érosion, lixiviation) et la réduction de certaines activités biologiques. L'utilisation rationnelle des résidus de culture au champ semble essentielle, tant pour réduire les exportations minérales que pour assurer un niveau raisonnable du taux de matières organiques dans les horizons superficiels du sol, une structure correcte et une bonne résistance à l'érosion, une capacité suffisante de stockage de l'eau utile et des nutriments.

## VI. CONSEQUENCES DES TRANSFERTS PARTICULAIRES SUR LA MORPHOLOGIE DES PROFILS

=====

Dans la séquence bioclimatique étudiée, l'appauvrissement en particules fines des horizons superficiels est généralisé sur les couvertures kaoliniques : cet appauvrissement provient de l'action combinée de l'érosion en nappe sélective, des remontées de matériaux fins par la mésofaune et du lessivage des éléments colloïdaux. La destruction des argiles ne semble se produire qu'en milieu chaud beaucoup plus humide (pluie > 300 mm)

En milieu forestier subéquatorial, le drainage vertical est si important que le lessivage vertical à floculation diffuse domine les mouvements obliques de surface et développe des profils peu différenciés et profondément appauvris. Sous savane brûlée et sous culture sarclée le lessivage est aussi abondant, mais largement dépassé par les phénomènes d'érosion sélective. Sur forte pente ou en milieu dégradé, l'érosion devient décapante, ce qui limite l'épaisseur des horizons appauvris. Si le lessivage des éléments colloïdaux est plus apparent en milieu tropical sec, c'est que ceux-ci se déposent à faible profondeur, faute de drainage profond : ils forment des profils très différenciés. Dès lors se développe un horizon compact à faible profondeur lequel favorise les mouvements obliques superficiels de l'eau et de tout ce qu'elle peut transporter.

Pour le lessivage comme pour l'érosion en nappe, l'énergie des gouttes de pluie intervient pour désagréger les particules, tandis que l'eau assure leur transport. Par contre, les matières organiques peuvent jouer des rôles divergents : les acides fulviques maintiennent les colloïdes kaoliniques à l'état dispersé et assurent leur migration, tandis que d'autres formes de matières organiques protègent la stabilité de la structure et ralentissent l'érosion.

Les activités de la mésofaune sont multiples et très variables d'une espèce à l'autre. Retenons leur influence positive sur la macroporosité, la capacité de filtration et l'homogénéisation des horizons superficiels. Notons également que la remontée de matériaux riches en particules fines au-dessus de la litière et des lits de graviers, assure l'évolution de l'appauvrissement et la possibilité d'une érosion en milieu naturellement protégé.

## VII. CONCLUSIONS GENERALES

=====

De cette étude on peut retenir quelques enseignements généraux concernant la pédogenèse actuelle et l'influence de l'homme et de la végétation sur celle-ci.

1) - La différenciation des profils sur les couvertures kaoliniques tient à la diversité de la dynamique de l'eau et au rôle essentiel joué par diverses activités biologiques. En même temps que les mouvements de l'eau deviennent plus profonds du pôle sahélien au pôle subéquatorial, les activités biologiques s'amplifient et se diversifient au point d'influencer la plupart des processus pédologiques.

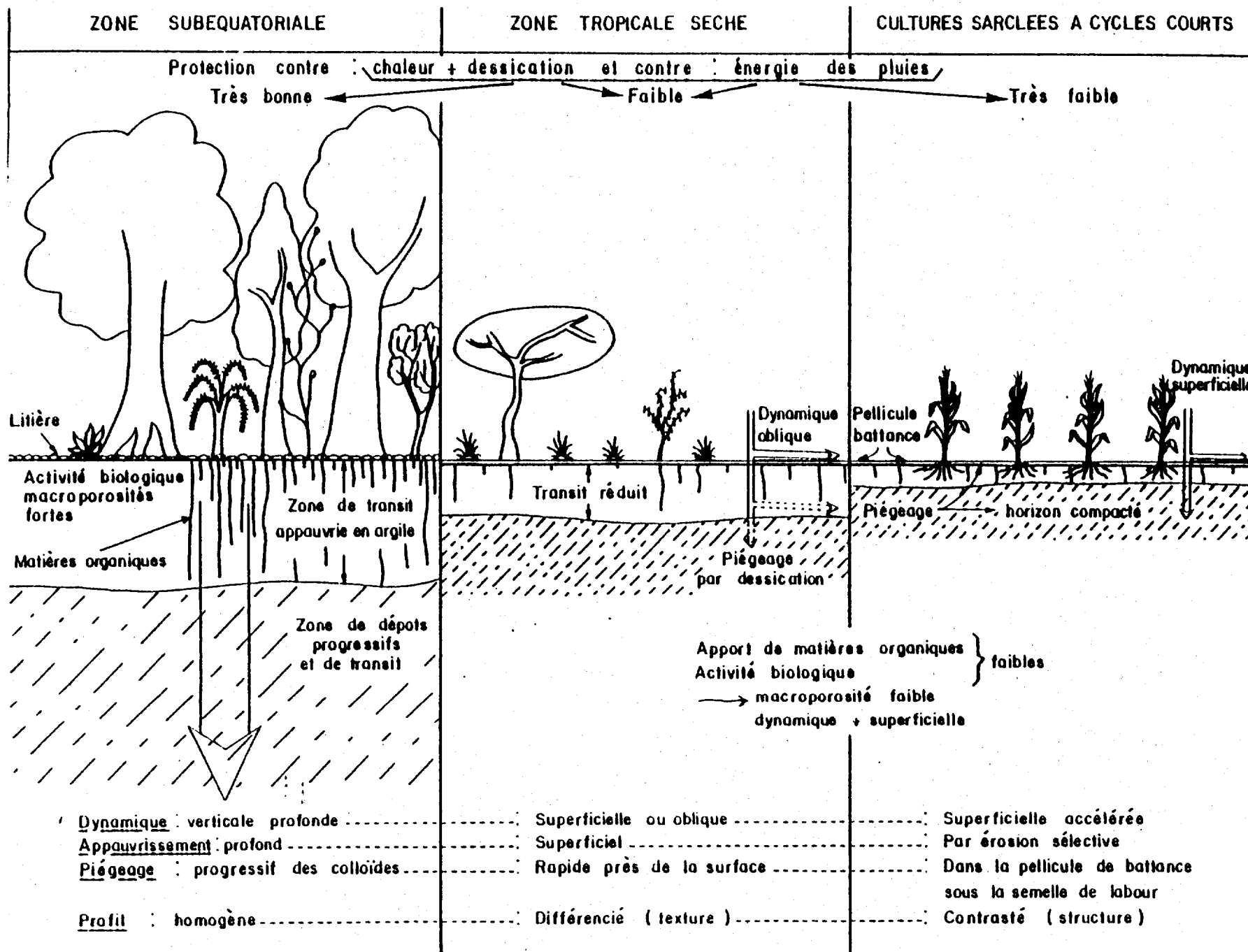


Fig. 12.1 INFLUENCE BIOLOGIQUE ET CLIMATIQUE SUR L'EVOLUTION DU PROFIL PEDOLOGIQUE D'UNE COUVERTURE KAOLINIQUE EN MILIEU TROPICAL

2) - Les transferts de matières sous forme particulaire occupent une place prépondérante dans la séquence bioclimatique étudiée. Si la part des migrations solubles augmente à mesure que le climat devient plus humide, ils ne les dépassent pas, même en milieu subéquatorial. Sous culture peu couvrante, l'érosion en surface masque les autres transferts.

3) - La lixiviation des nutriments et l'appauvrissement en particules fines des horizons superficiels sont des processus pédologiques très rapides (quelques dizaines d'années à quelques millénaires) par rapport à l'altération ferrallitique (quelques dizaines de millénaires par mètre de granite kaolinisé). De plus, l'homme, en aménageant le milieu naturel, accélère encore l'érosion et les migrations particulières à la surface du sol. On comprend bien dès lors, pourquoi la morphologie des profils est en relation étroite avec le bioclimat actuel.

4) - Le rôle de la végétation (surtout les arbres) sur la dynamique des sols est considérable.

5) - Finalement, il faut insister sur le rôle fondamental de l'homme sur la pédogenèse actuelle. L'homme peut en effet modifier profondément la couverture végétale, les activités biologiques et la structure des horizons superficiels (travaux cultureux) ce qui accélère certains processus et peut changer la dynamique actuelle de la partie supérieure du profil. Le milieu étant exposé à un climat particulièrement agressif (chaleur desséchante suivie de pluies violentes), sa mise en valeur exige qu'on respecte les lois élémentaires de la nature et en particulier qu'on protège les horizons superficiels les plus actifs biologiquement et qu'on leur restitue régulièrement les éléments nutritifs et les matières organiques qui lui sont indispensables pour maintenir leur niveau de fertilité.

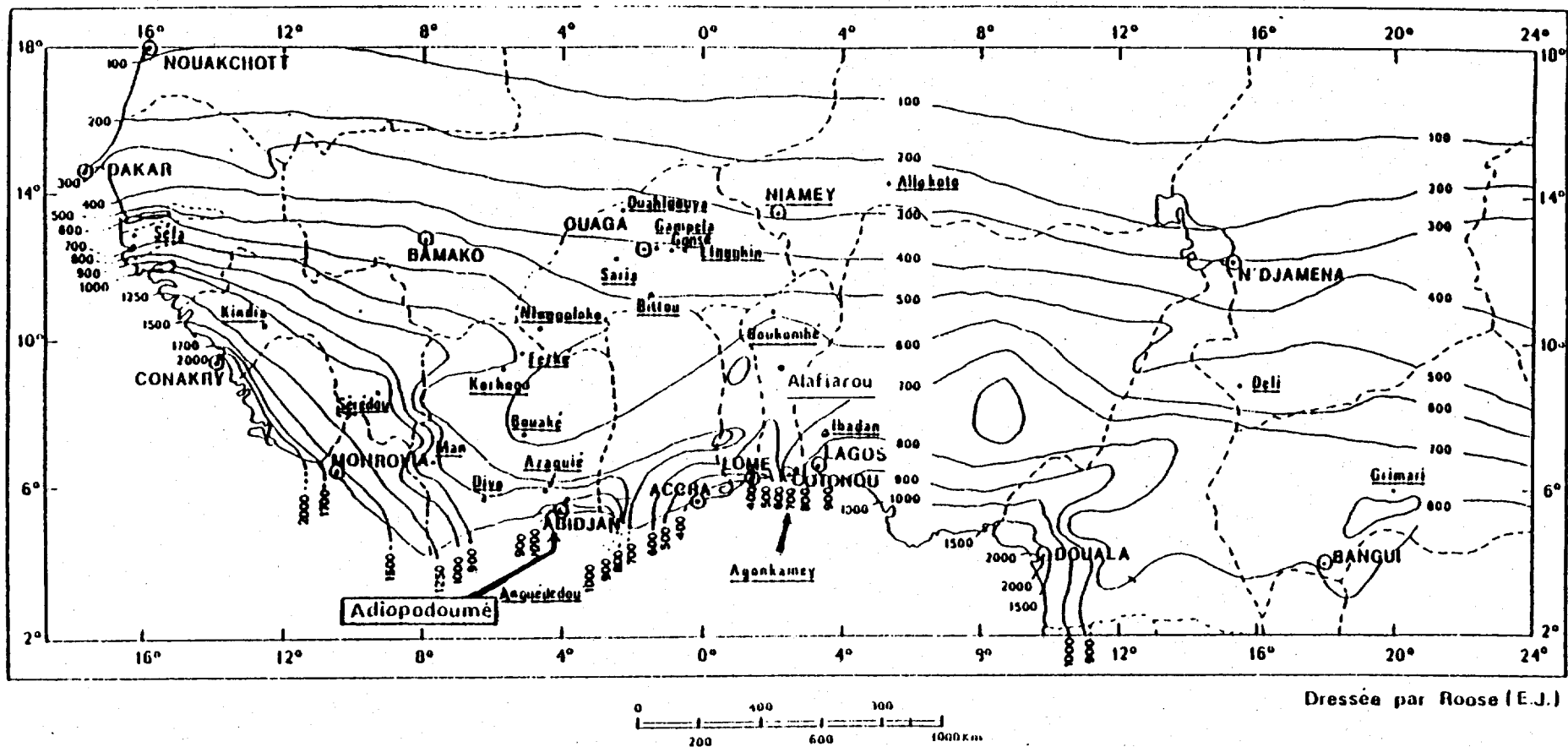


Fig. 3.5 - Esquisse de la répartition de l'indice d'agressivité climatique annuel moyen (Rusa de Wischmeier) en Afrique de l'Ouest et du Centre - Situation des parcelles d'érosion - D'après les données pluviométriques rassemblées par le Service Hydrologique de l'ORSTOM et arrêtées en 1975.

**RESEAU  
EROSION**



**Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION**

**Pour citer cet article / How to cite this article**

Roose, E. - Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale : étude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivés, pp. 14-25, Bulletin du RESEAU EROSION n° 1, 1982.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : [beep@ird.fr](mailto:beep@ird.fr)