

UN SCHEMA DES INTERRELATIONS HYDRODYNAMIQUES DANS LES MILIEUX NATURELS ET CULTIVES : VALORISATION DES DONNEES MORPHOLOGIQUES

Jean COLLINET et Christian VALENTIN

ORSTOM Centre d'Adiopodoumé
B.P.V 51 Abidjan
(Côte d'Ivoire)

INTRODUCTION

Les écosystèmes naturels ou transformés par l'homme sont caractérisés par des interrelations dynamiques dont on sait qu'elles sont toujours complexes. Il est de plus très délicat de chercher à établir des liaisons entre les données morphologiques telles qu'elles peuvent être exprimées dans le langage des naturalistes de terrain, et les données toujours chiffrées fournies par les protocoles expérimentaux. C'est pourtant là que *structure* et *fonctionnement* doivent trouver leur articulation, si l'on prétend accéder à une connaissance globale des milieux étudiés.

En d'autres termes, c'est d'un problème *interdisciplinaire* qu'il s'agit. Il est clair que certaines disciplines (pédologie, géographie physique, etc) utilisent beaucoup de données descriptives et structurales, notamment lors de l'établissement de cartes, alors que d'autres (bioclimatologie, agronomie, etc), peuvent s'appuyer davantage sur des bases expérimentales. La nécessité d'un rapprochement entre ces disciplines s'impose actuellement de plus en plus.

C'est une réflexion sur ce problème qui est à l'origine de la présente note. Il ne peut être question d'envisager sous tous ses aspects un écosystème donné, aussi restreint fut-il. Ne sera retenu, à titre d'exemple, que le *cycle de l'eau* ou plus précisément une partie de ce cycle débutant avec les précipitations pluviales. L'eau sera considérée comme un *vecteur dynamique* possédant à l'origine un niveau d'énergie dont on suivra les transformations à travers les *structures du milieu*.

Ces différentes structures, ou plutôt ces différents corps naturels seront définis suivant la *typologie* constituée pour le milieu tropical humide par RICHARD et al. (1977). C'est en effet cette typologie qui nous paraît la plus apte à l'articulation recherchée avec les données dynamiques expérimentales. En premier lieu, elle situe le cadre général des transformations de l'énergie liée à l'eau :

- le *phytoplexion*, en tant que structure interceptrice,
- le *métaplexion* (strict), apparaissant comme un filtre métastable,
- le *métaplexion inférieur* et l'*infraplexion* qui jouent le rôle de réservoir dynamique mais ne seront pas considérés dans la présente étude.

Il s'agira ensuite de montrer ou d'essayer de montrer le rôle fonctionnel particulier (relatif à l'eau) joué par chaque corps naturel représenté par un diagnostic typologique. Cette démarche ne peut encore être qu'ébauchée. A terme, elle devrait transformer la typologie des corps naturels en une sorte de *référentiel* pour l'estimation des processus.

LE PHYTOPLEXION : UNE STRUCTURE INTERCEPTRICE

Rappelons que suivant RICHARD et al. (1977) le phytoplexion comprend le *supraplexion* dans lequel la végétation ligneuse trouve son maximum de développement et le *métaplexion* (supérieur) qui regroupe toute la végétation herbacée et les plantules diverses.

La transformation de l'énergie cinétique des pluies

Lorsqu'une pluie tombe sur un sol nu, elle transmet une certaine énergie aux agrégats. Pour des intensités suffisamment fortes, l'impact des gouttes est susceptible de mobiliser une fraction de l'horizon superficiel (ELLISON 1947) et de provoquer ainsi des pertes en terre (WISCHMEIER et SMITH 1958) et la formation de pellicules de battance (TACKETT et PEARSON 1965). Le plus souvent cette énergie cinétique se dissipe au niveau de la végétation qui intervient sur trois paramètres :

- la masse d'eau atteignant effectivement le sol avec une certaine vitesse,
- la taille des gouttes,
- la hauteur de chute et donc la vitesse d'impact.

L'analyse de ces phénomènes ouvre de nouvelles voies de recherches qui devraient permettre une étude plus approfondie de l'action du couvert végétal sur la protection du sol.

Interception

Une partie des pluies interceptée par la végétation (S) n'est pas transmise au sol avec impact. Elle est retenue par les feuilles et s'évapore (E) ou elle ruisselle le long des axes conducteurs (T). La fraction développant une énergie cinétique au sol (I) se réduit donc à :

$$I = S - E - T$$

S : le pourcentage de pluie interceptée par un couvert végétal correspond à la projection verticale du volume intercepteur. Pour des plantes suffisamment petites, la méthode des points quadrats permet une estimation de cette valeur. Pour un couvert continu (forêt tropicale prairie...), S peut être assimilé à P, hauteur de la pluie (mm).

T : ce facteur dépend de la structure végétale. Il est négligeable en forêt tropicale (moins de 1% de P d'après LEMEE et al. 1971). Pour l'ananas, par contre, en forme d'entonnoir, T est voisin de S, réduisant ainsi I à des valeurs négligeables (VALENTIN 1978). Il est vraisemblable qu'un résultat analogue serait obtenu pour des structures verticales (graminées...).

E : un nombre élevé de paramètres intervient sur la quantité d'eau interceptée et évaporée par la végétation : intensité et durée des précipitations, humidité préalable du feuillage, rayonnement, hygrométrie, vitesse du vent, etc... E est en général mesuré indirectement par l'intermédiaire de P, I et T. Plusieurs modèles ont été proposés, dont les plus simples ne prennent en compte que la hauteur des précipitations. Après un an de mesures réalisées en forêt de Taï (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire), CARDON (1979) propose le modèle logarithmique :

$$E = 0.753 \text{ LN } (1 + P) + 0.138$$

(E et P en mm)

Cette expression est voisine de celle de JACKSON (1975) obtenue en Tanzanie, également en forêt tropicale :

$$E = 0.542 \text{ LN } (P) + 0.85$$

Des études plus fines peuvent être entreprises suivant le type de couvert : ARSTON (1979) a mesuré l'interception de pluies simulées pour 8 espèces d'Eucalyptus, d'Acacia et de Pin. Il en déduit que l'interception est étroitement liée à la surface foliaire. Selon lui, les facteurs couramment utilisés en hydrologie (pluies d'imbition, détention superficielle etc...) pourraient être étendus au couvert végétal, E correspondant alors à l'infiltration et I au ruissellement. Notons que le seul paramètre E n'intervient que relativement peu : sous forêt tropicale (CARDON op. cit.) 87% de pluie totale annuelle parvient jusqu'à la hauteur des pluviomètres linéaires (50 cm).

Diamètre des gouttes

Du fait du ruissellement sur les feuilles, l'interception des pluies par un couvert végétal modifie la distribution des diamètres de gouttes. Les petites gouttes auraient tendance à se regrouper (nourrissage) sans subir de pulvérisation ultérieure au cours de la chute. Pour étudier un tel phénomène, il est nécessaire de déterminer au préalable la distribution du diamètre de gouttes de pluies sur sol nu pour différentes intensités. Pour cela, la méthode la plus couramment utilisée (BENTLY 1904) consiste à recueillir les gouttes de pluie dans un bac de farine. Les agrégats ainsi formés se répartissent suivant les différentes classes de tamis. Une relation permet de passer aisément du diamètre de l'agrégat à celui de la goutte qui l'a formé. Les résultats, acquis par divers chercheurs utilisant cette méthode, diffèrent selon les climats. Il est vraisemblable que de nombreux paramètres interviennent sur cette donnée : intensité et durée de l'averse, type de nuage, vitesse du vent, température de l'air, saison etc... (CARTER et al. 1974). En première analyse, pour des intensités identiques le diamètre et l'énergie cinétique des gouttes seraient inférieurs en climat "océanique" (Trinidad, Japon, Sud-Ouest Côte d'Ivoire) à celles mesurées en climat plus continental (Allemagne, Rhodésie, Centre Sud des Etats Unis) (figures n°1 et 2) :

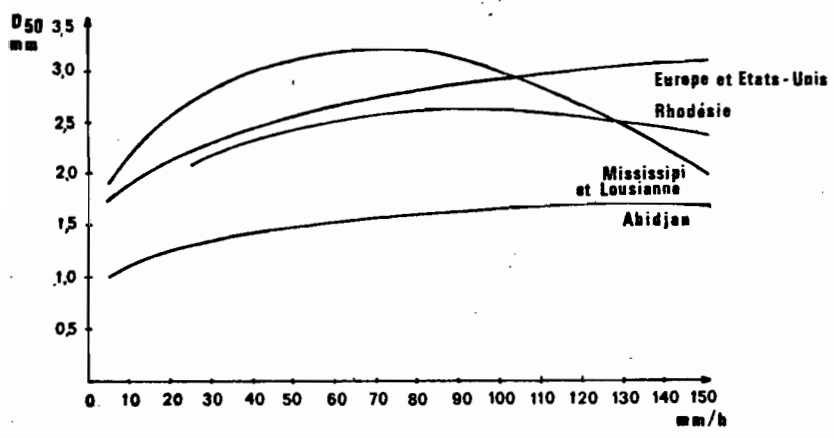


FIGURE : 1 DIAMETRE MOYEN ET INTENSITE DE PLUIE

Sud Côte d'Ivoire :

$$D_{50} = 0.77 I^{0.16}$$

(mm) (mm/h)

(n = 70, r = 0.53) (VALENTIN 1979)

Allemagne

$$D_{50} = 1.24 I^{0.18}$$

(LAWS et PARSONS 1943 d'après DEFANT 1905 et LENARD 1904)

Centre Sud des Etats-Unis

$$D_{50} = 1.63 + 0.053 I - 5.28 \cdot 10^{-4} I^2 + 1.28 \cdot 10^{-6} I^3$$

(CARTER et al. 1974)

D₅₀ désigne le diamètre de goutte correspondant à 50% du volume cumulé déterminé sur la courbe fréquentielle (ΣV(%) = f(d), d étant le diamètre de goutte).

Les premières mesures (n = 7) réalisées par VALENTIN sous un arbre dont le dernier niveau intercepteur se situe à deux mètres (Azidarachia indica - A. JUSS) semble indiquer que le nourrissage des gouttes est d'autant plus marqué que l'intensité de pluie est élevée (le rapport des D₅₀ mesurés sous arbre et sur sol nu varié de 1.3 à 10 mm/h ; à 2.3 à 60 mm/h).

Hauteur de chute et vitesse d'impact

Les gouttes issues des nuages atteignent très rapidement (une dizaine de mètres) une vitesse limite (V) correspondant à leur diamètre d, telle que les forces de frottement de l'air s'équilibrent avec le poids :

$$\left(V_1 = \frac{4 d g}{3 \rho C} \right)^{0.5}$$

(m/s)

avec ρ : masse spécifique de l'air = 12.10⁻⁴

C : 0.45 pour les gouttes d'eau assimilées à des sphères de diamètre d

Pour un couvert végétal, seule est déterminante la hauteur de la dernière structure interceptrice h. Tenant compte de la résistance de l'air, la vitesse d'impact au sol V_i est alors :

$$\left(V_i = \frac{2 g h}{1 + \frac{3 \rho C}{2 d}} \right)^{0.5}$$

La dissipation de l'énergie cinétique provoquée par la modification de la vitesse d'impact peut être estimée par la formule suivante (figure 3, VALENTIN 1979) :

$$\text{si } h > h_1 = \frac{V_1^2}{2g} \left(1 + \frac{3 \rho C}{2 d}\right), \quad K = \frac{E_c \text{ interceptée}}{E_c \text{ sol nu}} = 1$$

$$\text{si } h < h_1, \quad K = \frac{h}{1 + \frac{2d}{3\rho C}} \quad (h \text{ et } d \text{ en m})$$

Calcul de l'énergie cinétique

L'énergie cinétique d'un millimètre de pluie s'obtient en sommant les énergies cinétiques des différentes classes de diamètre de gouttes qui le constituent :

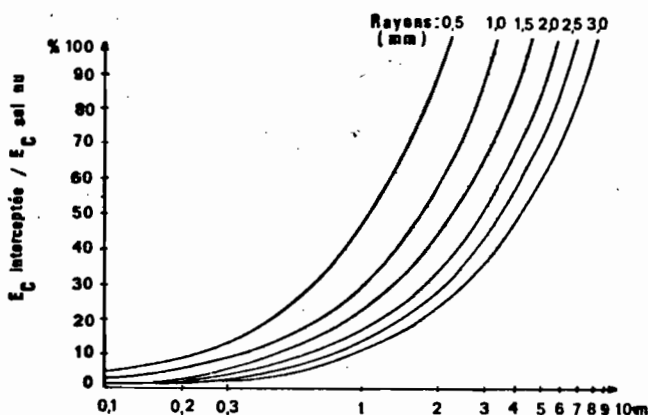


FIGURE 2 . EFFET DE LA HAUTEUR DE CHUTE SUR LA DISSIPATION DE L'ENERGIE CINETIQUE

$$E_{c \text{ sol nu}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} m_{d_i} V_{l_i}^2$$

m_{d_i} étant le pourcentage de gouttes appartenant à la classe de diamètre d_i

et

V_{l_i} la vitesse limite correspondante.

Ainsi, les énergies cinétiques de pluies, varient comme pour les diamètres de gouttes selon les climats où les études ont été réalisées :

Sud Côte d'Ivoire :

$$E_c = 7.79 + 3.09 \text{ LN } (I) \quad (n = 65 \quad r = 0.62)$$

(VALENTIN 1979)

Etats Unis : (cette relation est utilisée dans l'équation universelle des pertes en terre - WISCHMEIER et SMITH 1960)

$$E_c = 13.3 + 4.26 \text{ LN } (I) \quad (\text{WISCHMEIER et SMITH 1958})$$

Rhodésie :

$$E_c = 29.82 - \frac{127.51}{I} \quad (\text{HUDSON 1965})$$

Les résultats obtenus en Basse Côte d'Ivoire sont très proches de ceux de MIHARA (1951) au Japon, et de KER (1954) à Trinidad (figure n°2)

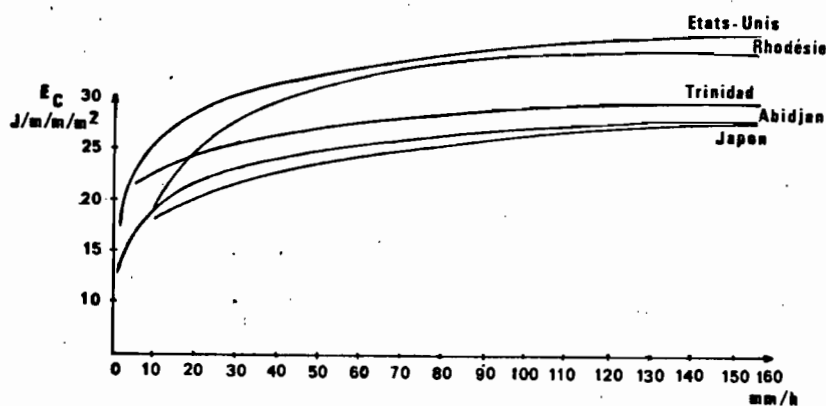


FIGURE 3 : ENERGIE CINETIQUE ET INTENSITE DE PLUIE

Pour un couvert végétal, il est nécessaire, comme nous venons de le montrer, de déterminer les fractions interceptées et transmises avec impact, la distribution des diamètres de gouttes et les hauteurs des dernières structures interceptrices. En reprenant les notations précédentes, VALENTIN (1979) propose l'expression :

$$E_c \text{ interceptée} = \frac{I}{P} \sum_{i=1}^n \frac{m_{d_i} g h}{1 + \frac{3\rho C}{2d_i}}$$

Dans l'exemple qu'il donne pour un neem (petit arbre de zone sèche), il obtient des valeurs moyennes d'énergie cinétique interceptée correspondant aux deux tiers de l'énergie cinétique "sol nu". Cette dissipation est dûe, dans ce cas, essentiellement à l'interception (I/P = 69%), la faible hauteur de chute (2 m) étant compensée par le nourrissage des gouttes

$$\left(\frac{E_c \text{ interceptée}}{E_c \text{ sol nu}} \times P/I = 96 \% \right)$$

La périodicité des interceptions

Nous venons de voir expérimentalement dans quelles limites et pour quelles raisons variaient les deux termes intervenant dans la formule de l'énergie cinétique. On conçoit que toutes modifications de la densité et du volume végétal influent fortement sur les transformations de cette énergie

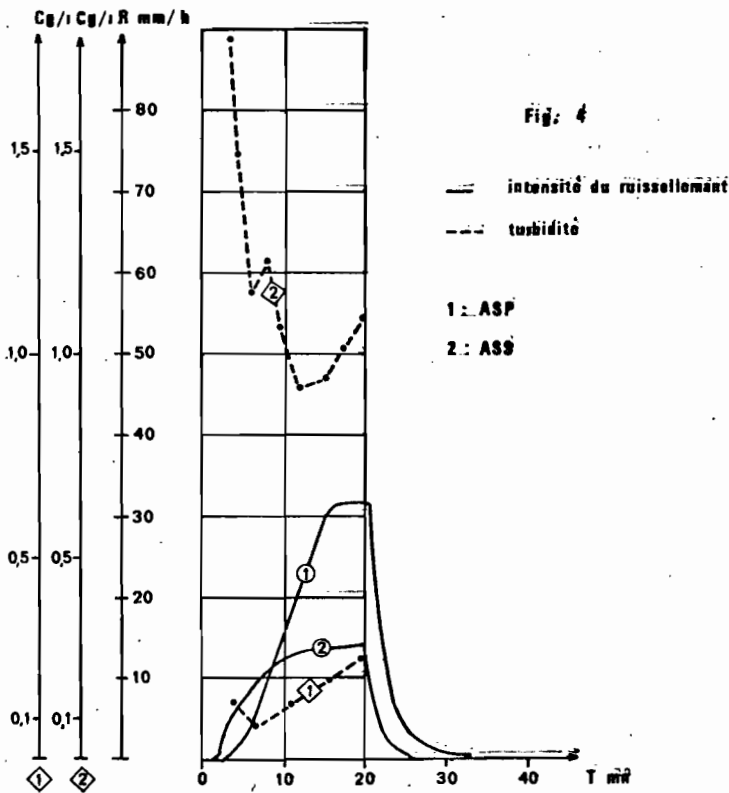
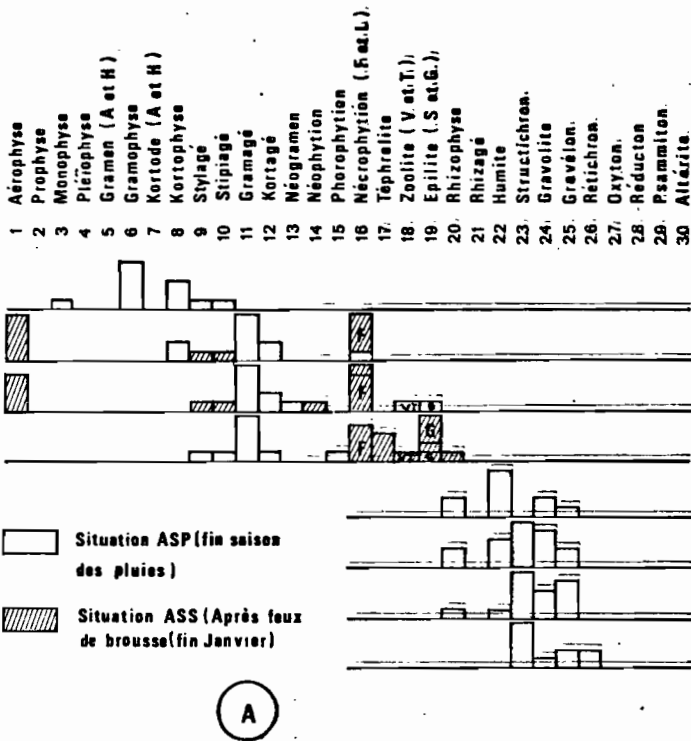
Cette périodicité des interceptions peut être naturelle, liée au cycle des saisons, ou provoquée du fait de la mise en culture et se trouvera alors fortement influencée par le calendrier des semis et des récoltes. Nous ne retiendrons comme exemple que l'évolution saisonnière des savanes à Ro-niers du V baoulé (Centre Côte d'Ivoire).

Les interceptions saisonnières sous végétation naturelle

Les données qui suivent sont extraites d'une étude sur l'hydrody-namique et l'érodibilité de sols représentatifs de petits bassins versants de la région de Sakassou. Les interfluves y atteignent 1000 à 1500 m, les dénivelations : 10 à 15 m, les versants affectent un profil convexo-concave avec une pente générale de 4%, les bas-fonds largement évasés drainent un réseau bien hiérarchisé. La séquence qui nous a paru représentative se sub-divise en un certain nombre de segments paysagiques (5, parfois 6) que nous avons identifiés par une intégration des données géomorphologiques, botaniques et pédologiques. Leur caractérisation dynamique s'est faite à l'aide d'un simulateur de pluies arrosant des parcelles disposées sur 5 sites expé-rimentaux coïncidant avec certains des segments paysagiques. Les essais se déroulèrent d'une part en fin de saison des pluies (fin août) donc en pério-de de développement maximum de la végétation, et d'autre part en fin de sai-son sèche (fin janvier) exactement sur les mêmes parcelles alors presqu'en-tièrement dénudées par le brûlis. Nous ne comparerons que les situations vé-gétales du site de sommet de versant (soit le site A) et du site de bas de versant, correspondant à la basse entaille (AVENARD-RIEU) (soit le site B).

Le site A a été caractérisé (fiche ci-dessous) en fin de saison des pluies (situations ASP) et au mois de janvier après les passages des feux (situation ASS). Les deux premiers hoplexols ont été entièrement dé-truits par les feux. La combustion plus longue a modifié le troisième ho-plexol en détruisant une grande partie des végétaux morts accumulés à pro-ximité des touffes de graminées. Le vent a plus ou moins épandu les cendres et les petits débris. Une pluie précoce de faible hauteur a provoqué la croissance d'un néogramen très clairsemé.

Voyons maintenant quelle peut-être la répercussion de cet évène-ment sur l'hydrodynamisme superficiel et sur l'érosion. Pour isoler plus strictement le facteur "couvert végétal", notre comparaison porte sur des caractéristiques pluviométriques identiques (intensité, hauteur), sur des conditions d'humectation voisines (temps de ressuyage, lame infiltrée).



Il faut noter que la situation ASS correspond à ce qu'il est possible d'observer naturellement en début de saison des pluies (début mars). La comparaison des données graphiques (figure n° 4) ou chiffrées (tableau n° I) amène les constatations suivantes :

- en ce qui concerne le ruissellement (ou l'infiltration), les situations de saison des pluies (ASP) ou de saison sèche (ASS) ne fournissent pas des résultats significativement différents. Les ruissellements restent modestes dans les deux cas et l'on constate même, au bilan que le sol dénudé a tendance à ruisseler moins que le sol enherbé. La seule différence sensible est observée au niveau des hauteurs de pluies d'imbition (P_i) qui sont plus importantes sous le couvert végétal de saison des pluies (ASP). Ceci est normal mais mérite quelques explications : si l'on considère en effet le cas théorique de l'arrosage d'une parcelle dénudée, rigoureusement plane et imperméable, un ruissellement maximum apparaîtra rapidement mais on ne "bouclera" pas le bilan parce qu'une partie de l'eau restera fixée à la surface de la parcelle à cause de phénomènes de tensions superficielles en liaison avec la viscosité de l'eau. Une autre infime quantité aura pu s'évaporer pendant la durée des essais. Dans le cas moins théorique d'une parcelle également dénudée mais non plane et perméable, le coefficient de ruissellement dépendra du stockage de l'eau dans les dépressions du sol ainsi que de l'infiltration réalisée sur toute la surface mouillée de la parcelle. Enfin, dans le cas pratique de la parcelle enherbée toujours non plane et perméable : une partie supplémentaire de l'eau va se stocker plus ou moins longuement sur la végétation qui intercepte la précipitation. Une autre partie sera canalisée le long des axes verti-

caux ou sub-verticaux et tout se passe comme si la surface spécifique de la parcelle se trouvait augmentée.

TABLEAU N° I : LES EFFETS DU COUVERT VEGETAL SUR LE SOL DU SITE AMONT

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Réf.	Situation	ta	Im	Pu	SPu	Pi	L	Dr	W	Kr	Rx	Fn	E	Cs	Cx
ASP	1: Savane herbacée	1 h	90	30	250	5,9	6,7	1,5	228	23,0	31,5	55,0	7,5	(0,2)	-
ASS	2: Savane brûlée 2/1	1 h	90	30	250	3,2 0,54	3,2 0,48	0,3	26,8	10,7	(13,5)	(78,8)	35,6 4,7	1,8	(1,0)

1. Réf. : numéro de référence de la parcelle

2. Traitement subi par la parcelle

3. ta : temps de ressuyage entre deux averses (heures)

4. Im : intensité de l'averse (mm/h)

5. Pu : hauteur de la pluie utile (mm)

6. SPu : hauteur cumulée des pluies depuis le début des essais (mm)

7. Pi : hauteur de la pluie d'imbition (mm)

8. L : hauteur de la lame ruisselée (mm)

9. Dr : hauteur de la détention superficielle récupérable (mm)

10. W : hauteur de la lame infiltrée (mm)

11. Dr : coefficient de ruissellement (%) = $\frac{100 L}{Pu}$

12. Rx : intensité maximum du ruissellement en palier (mm/h)

14. E : érosion globale (Kg/ha)

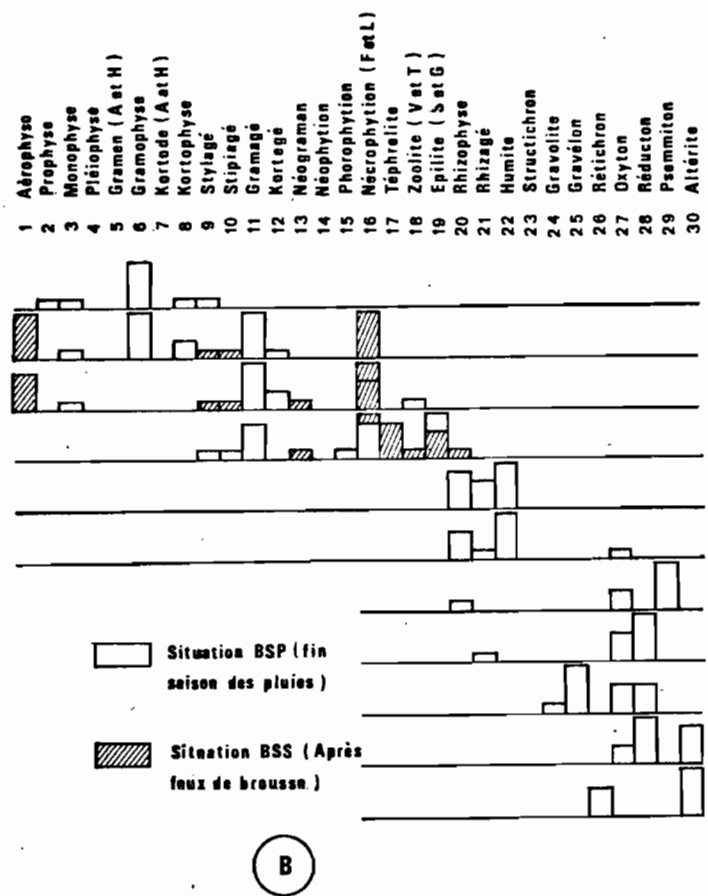
15. Cs : maximum de turbidité (g/l)

16. Cx : palier de la turbidité (g/l)

Dans l'exemple présenté on évalue à 3 mm (Pi de ASP - Pi de ASS), la hauteur d'eau humectant le gramophyse et le kortophyse. Sur le même site, mais pour des conditions pluviométriques différentes, cette interception peut atteindre 20 mm. On a constaté que ces hauteurs d'interception croissent en raison inverse de l'intensité et en raison directe du temps de dessiccation du complexe sol-végétation.

- Si le couvert graminéen semble avoir peu favorisé l'infiltration, son rôle se manifeste plus positivement dans la dissipation de l'énergie cinétique des gouttes d'eau, donc sur une importante composante de l'érosion (effet splash). On constate en effet (figure n° 4 et tableau n° I), sur la parcelle dénudée par le brûlis que les turbidités deviennent nettement plus importantes : 9 fois plus pour les valeurs en pic et environ 20 fois plus pour les valeurs en palier. Du fait des faibles ruissellements, l'érosion reste cependant dans des limites modestes : (35 kg/ha pour une pluie utile de 30 mm).

Le deuxième exemple provient du site expérimental B de bas de versant. Si nous l'avons retenu, c'est que la savane herbeuse y est nettement plus dense et plus vigoureuse du fait de l'humectation plus durable des sols de ce segment. Le site B est représenté par la fiche ci-contre, en saison des pluies (situation BSP), et en saison sèche, après brûlis, lorsque le phytoplexion se réduit considérablement (situation BSS).



On note donc, en janvier, une élimination de la plupart des structures interceptrices et aussi une combustion importante des débris végétaux qui étaient accumulés près de la surface du sol. La phase épilitique sableuse perd une grande partie de ses caractéristiques par incorporation biologique dans les hoplexols sous-jacents. Comme pour le site A de l'amont, une pluie précoce a permis un léger recru graminéen.

B

Comme dans l'exemple précédent, nous allons essayer de dégager le rôle protecteur du couvert végétal en comparant les données expérimentales chiffrées correspondant aux deux situations :

TABLEAU N° II : LES EFFETS DU COUVERT VEGETAL SUR LE SOL DU SITE AVAL

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Réf.	Situation	ta	Im	Pu	SPu	Pi	L	Dr	W	Kr	Rx	Fn	E	Cs	Cx
BSP	1: Savane herbeuse	7 h	90	45	500	30,0	9,8	2,1	35,2	21,8	(65,0)	(25,0)	14,0	0,23	0,05
BSS	2: Savane brûlée	7 h	90	45	500	6,0	7,3	0,6	37,7	16,2	25,0	65,0	330,0	5,4	(3,3)
	2/1					0,20	0,74			0,74			23,6		

1. Réf. : numéro de référence de la parcelle
2. traitement subi par la parcelle
3. ta : temps de ressuyage entre deux averses (heures)
4. Im : intensité de l'averse (mm/h)
5. Pu : hauteur de la pluie utile (mm)
6. SPu : hauteur cumulée des pluies depuis le début des essais
7. Pi : hauteur de la pluie d'imbibition (mm)
8. L : hauteur de la lame ruisselée (mm)

9. Dr : hauteur de la détention superficielle récupérable (mm)
10. W : hauteur de la lame infiltrée (mm)
11. Dr : coefficient de ruissellement (%) = $\frac{100 L}{Pu}$
12. Rx : intensité maximum du ruissellement en palier (mm/h)
14. E : érosion globale (Kg/ha)
15. Cs : maximum de turbidité (g/l)
16. Cx : palier de la turbidité (g/l)

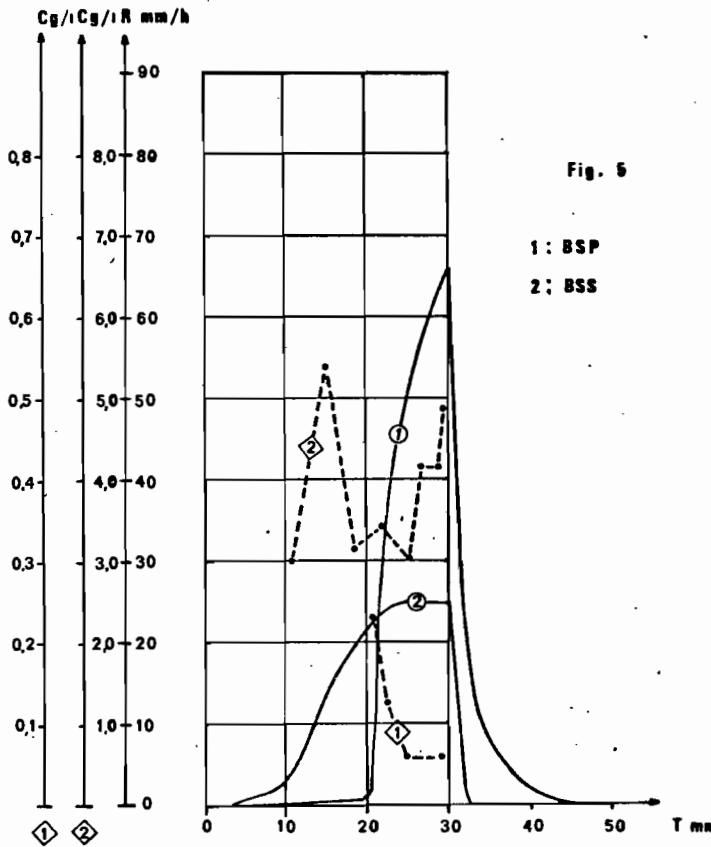


Fig. 5

1: BSP
2: BSS

On constate encore (cf. données graphiques de la figure n° 5 ou chiffrée du tableau n° II) que les ruissellements restent modestes quelle que soit la protection offerte par le couvert végétal. Les modalités de ce ruissellement sont cependant très différentes selon les deux situations. Sous un couvert graminéen dense, les gains à l'infiltration sont surtout dûs à la longueur des temps d'imbibition (cf. graphique de la figure n° 2) et, si l'on néglige les très faibles ruissellements parasites des 20 premières minutes, on arrive à une hauteur de pluie d'imbibition de 30 mm. Cependant, dès son apparition, le ruissellement croît très rapidement. Sur la parcelle dénudée du mois de janvier (situation BSS), cette phase d'imbibition est nettement plus courte (P_i BSS = 6 mm) et si l'on observe au bilan, des lames ruisselées assez voisines c'est parce que le régime permanent du ruissellement est plus long à s'instaurer et que de toutes façons sa valeur palier reste plus faible que précédemment.

Si l'on adopte la même démarche que pour le site A, il faut admettre ici que ce sont environ 24 mm qui vont imprégner l'ensemble du phytoplexion surtout représenté par le gramophyse et le kortophyse. Dans ce second exemple l'interception représenterait environ 50% de la hauteur de l'averse.

En ce qui concerne les pertes en terre : l'érosivité de l'averse se trouve considérablement atténuée par le couvert végétal, les turbidités augmentent de façon importante sur le sol dénudé et son érosion devient sévère malgré des écoulements peu excessif : E de BSP/ E de BSS = 24 avec 0,3 t/ha pour seulement 45 mm de précipitations.

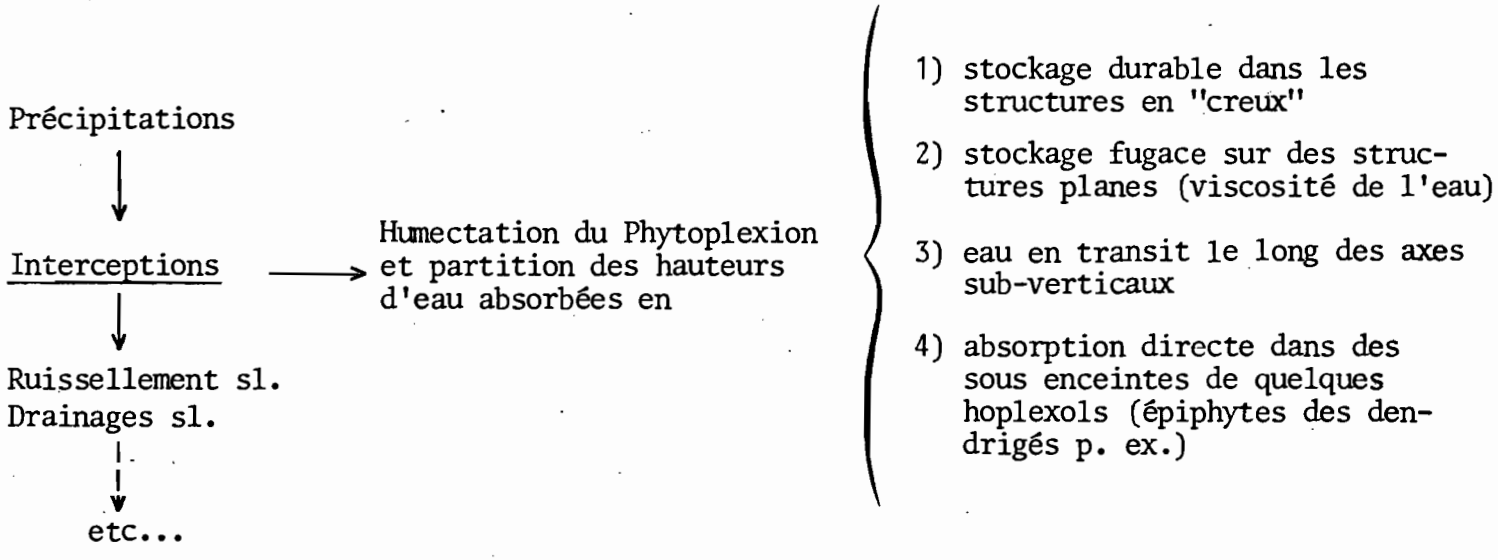
Bien qu'il soit hasardeux de tirer des conclusions sur la dynamique d'un versant uniquement considérée sous l'angle de l'influence de son couvert végétal, on peut cependant prévoir que, dans le cas présent, la période la plus érosive correspond aux mois de février et de mars. Mais tout dépendra de la façon dont s'installera la saison des pluies. Quelques averses précoces de faible intensité et suffisamment espacées vont permettre le développement d'un recru pouvant assurer un début de protection, encore faut-il que sa densité soit suffisante. A ce niveau interviennent d'autres facteurs de densification qui sortent de nos préoccupations (parcours du bétail ou même... de véhicules laissant des traces piégeant les graines). Par contre si la saison des pluies débute par des orages de forte intensité, ce qui est le cas le plus fréquent, les pertes en terre seront considérables.

Vers une conception élargie de l'interception - sélection des diagnostics les plus significatifs dans les études de toutes dynamiques

Les exemples précédents ont montré que ce n'est pas tant la variété des constituants naturels qui influent sur le comportement d'un système mais l'organisation de ces constituants entr'eux. En résumé, le phytoplexion intervient :

- de façon très évidente en dissipant l'énergie cinétique des gouttes de pluie,
- de façon moins nette, au moins en savane, dans le stockage plus ou moins durable d'une partie de ces eaux de précipitations.

On peut schématiser cette interception de la façon suivante :



Il faudrait évidemment compléter ce schéma en lui adjoignant toute une série de vecteurs sur la répartition et les transformations des énergies radiatives pénétrant ce phytoplexion d'hoplexols en hoplexols : photosynthèse transpiration et notamment évaporation des lames d'eau des rubriques 1, 2 et 3. On conçoit dès lors qu'en raison de la nature du flux d'énergie traversant le phytoplexion et ainsi en fonction de l'objet de la recherche opérée, il faille moduler la finesse de son analyse :

- la notion de *biomasse* est suffisante par exemple, pour toutes études sur le rendement énergétique,
- il faut la compléter ou, dans certain cas, lui substituer un *concept structural* rendant compte des organisations d'ensemble ou élémentaires lorsque l'on considère ce phytoplexion non plus comme un *receptacle* mais plutôt comme un *écran*.

L'approche transdisciplinaire a entr'autres choses déjà permis de préciser la notion de "densité d'un couvert" sous la forme de :

- l'évaluation du volume apparent de matière dans une enceinte donnée (hoplexols aérophiques → cléistophiques),
- d'indications sur les orientations des éléments de matière (structure élémentaire érécloïde, horicloïde, etc...),
- enfin d'une précision sur la morphologie de ces éléments.

L'utilisation simultanée de ces trois niveaux de diagnose devrait théoriquement qualifier et quantifier l'interception telle qu'elle a été schématisé précédemment. Pratiquement, sur le terrain, les choses se compliquent tant soit peu car les diagnoses sont rarement pures. Nous avons vu par exemple que l'hoplexol 180/70 cm du site ASP contient environ 80% de graminées et 20% de Malvacées dont les ports sont extrêmement différents comme le suggère le schéma de la figure n° 6 et il est évidemment difficile de quantifier par de strictes données morphologiques les interceptions spécifiques des structures érécloïdes du gramophyse ou celles à attribuer aux structures horicloïdes du kortophyse.

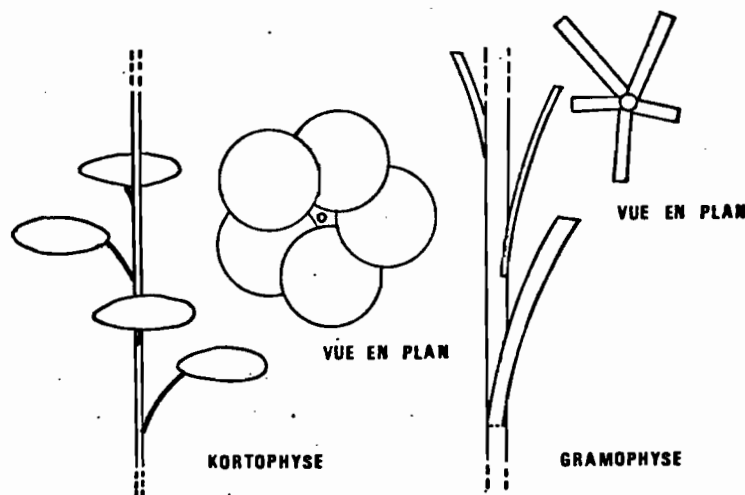


FIGURE 6 : Deux exemples de structures interceptrices en savanes
des zones tropicales humides

Des meilleures possibilités sont offertes par l'étude des peuplements purs (plantations, cultures industrielles) mais nous pensons aboutir plus rapidement par l'expérimentation : des modèles s'inspirant par exemple des schémas de la figure n° 6, disposés sous un dispositif de simulation de pluies pourraient être utilisés pour valoriser certaines données morphologiques.

LE METAPLEXION STRICT : UN FILTRE METASTABLE

Après la traversée des structures interceptrices du phytoplexion, les eaux de pluie arrivent au contact de la *surface du sol*. L'observation de cette zone limite entre biosphère et lithosphère et l'utilisation conjointe de différentes techniques expérimentales, montrent qu'il s'agit d'un filtre métastable dont les caractéristiques vont évidemment orienter les évolutions plus profondes nécessitant le renouvellement de plus ou moins grandes quantités d'air et d'eau.

Nous retiendrons quelques exemples de relations entre les données identifiant le *métaplexion strict* et les données expérimentales. Là encore, pour mieux isoler l'influence, nous avons préféré utiliser la technique de simulation de pluies pour pouvoir mieux maîtriser de nombreux paramètres.

Les données qui vont suivre sont extraites d'une opération de recherches menées dans le sud-ouest ivoirien et concernent une caractérisation suivie de la dynamique d'un milieu forestier soumis à une mise en culture traditionnelle (COLLINET - VALENTIN 1979). En ce qui concerne les études sur l'hydrodynamique et l'érosion, nous disposons entr'autres choses de parcelles expérimentales réparties sur les différents types de sols occupant les versants. Les interfluves atteignent 1000 à 1500 m d'extension latérale et 40 à 50 m de dénivelée. Les versants sont convexo-concaves avec des pentes dépassant rarement 25%.

Du sommet jusqu'à la mi-versant on découvre le plus souvent un segment à affleurements gravoliques sur hypo-structichron pauci-anguclode, argileux, rouge (site C1).

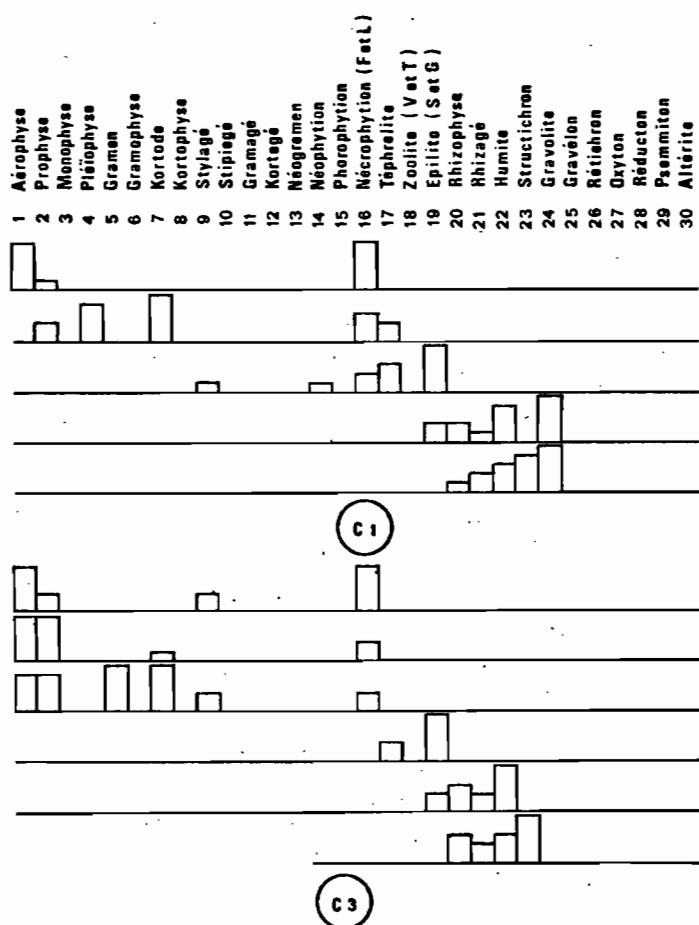
De la mi-versant jusqu'au tiers inférieur, ce gravolite s'enfouit tant soit peu, diminue en épaisseur et en densité ; ce segment contient surtout des lepto et brachy-apexols à appumite, gravo-structichron pauciclode, argilo-sableux, jaune ; réti-structichron jaune et rouge (site C2).;

Du tiers inférieur jusqu'en limite de bas-fond, on trouve un segment où prédominent les ortho-apexols à appumite appauvri, structichron pauciclode, argilo-sableux, jaune ; puis vers 120 m un duri-rétichron ou un pétro-stérite épais (site C3).

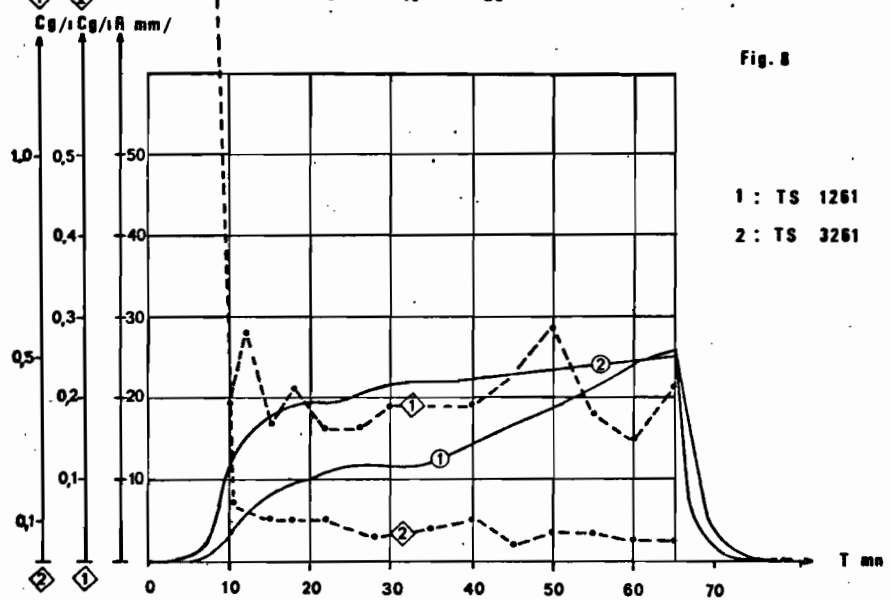
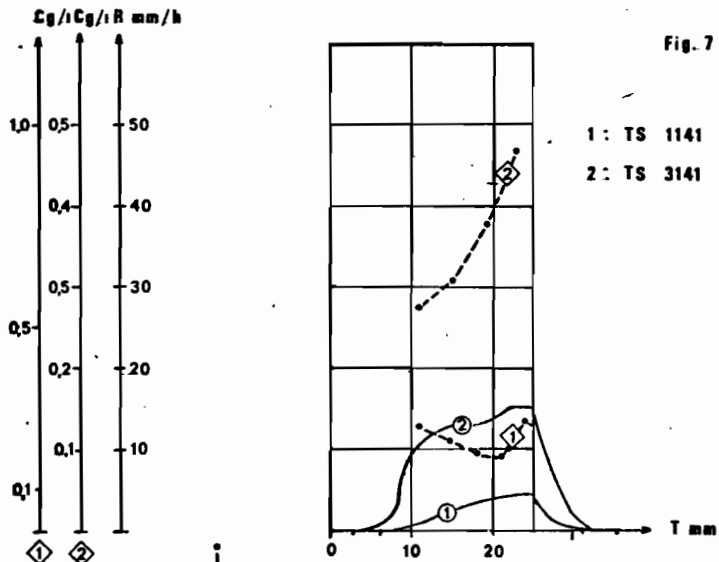
Nous ne retiendrons que deux situations expérimentales pouvant illustrer :

- l'influence des changements dans la nature du métaplexion strict, plus précisément nous considérerons l'influence des *affleurements d'éléments grossiers* par rapport au sol de bas de versant qui en est dépourvu,
- l'influence de perturbations intéressant ce métaplexion par *la mise en culture* (labour).

Influence des affleurements d'éléments grossiers



La fiche ci-contre représente les sites C 1 et C 3, situés respectivement en haut et en bas de versant. En C 1, la défriche traditionnelle pour le semis du riz aboutit à une élimination quasi totale du phytoplexion, les hoplexols identifiés entre 70 et 150 cm correspondent à des fragments de troncs coupés encore en place et peu susceptibles d'intervenir sur l'interception. Les précipitations arriveront directement sur l'épilite téphralique. En C 3, la préparation du sol s'est également traduite par une élimination plus ou moins soignée du phytoplexion. Il faut remarquer que l'abondance relative des diagnoses entre 0,5 et 100 cm ne signifie pas pour autant abondance de matière. En C 1 comme en C 3, les structures aérophiques ou à tendance aérophique des trois hoplexols concernés indiquent un recouvrement généralement inférieur à 5%.



Les caractéristiques pluviométriques sont identiques (même intensité et même hauteur) et pour avoir une idée plus précise sur les évolutions de la surface du sol nous présentons ici deux conditions d'humectation (cf. graphiques des figures n° 7 et 8 et le tableau n° IV) :

- sol fortement humecté, 14ème averse, 800 mm de pluies cumulées,
 - + site C 1 : averse n° TS 1.14.1
 - + site C 3 : averse n° TS 3.14.1
- sol très fortement humecté, 26ème averse, 1000 mm de hauteurs de pluies cumulées,
 - + site C 1 : averse n° TS 1.26.1
 - + site C 3 : averse n° TS 3.26.1

La quatorzième averse a duré 25 minutes dans les deux cas. Les infiltrations sont nettement plus importantes sur le sol gravillonnaire tant au point de vue d'une augmentation de la pluie d'imbibition ($P_{i2}/P_{i1} = 0,44$) que par une intensité d'infiltration plus forte en fin d'averse. Il en résulte des coefficients de ruissellements environ 5 fois plus élevés sur les surfaces sableuses de bas de versant mais on remarque à ce stade des essais et pour une pluie utile de 25 mm, que ces ruissellements sont encore modérés. La différence s'explique par une conductivité hydraulique nettement plus faible des ~~spilites sableux et dérmittes~~ du site C 3. L'érosion reste faible dans les deux cas et les différences, peu significatives sont uniquement dues aux deux niveaux des ruissellements car les turbidités semblent identiques.

La vingt sixième averse a duré 65 minutes. L'infiltration est plus faible que précédemment et les différences de comportement s'atténuent surtout à cause d'une diminution de l'infiltrabilité des sols de sommet. Les niveaux d'érosion restent faibles mais, curieusement, les érosions sont inversées ($E2/E1 = 0,48$) en liaison avec une inversion des paliers de turbidité. Bien qu'il s'agisse de valeurs très faibles, la pellicule de battance constituée sur les sols meubles de bas de versant serait devenue moins érodible que la surface des sols gravillonnaires de sommet.

En résumé les affleurements gravillonnaires favorisent l'infiltration mais leur taux semble dans le cas présent insuffisant pour que cet effet soit durable. On remarque que le problème de la charge en éléments grossiers de la surface du sol est relativement facile à résoudre sous simulation de pluies, c'est une voie qui sera vraisemblablement suivie sur des modèles artificiels dans lesquels on pourra également agir sur la texture de la phase meuble.

TABLEAU N° IV : INFLUENCE DES AFFLEUREMENTS D'ELEMENTS GROSSIERS

1.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Réf.	Traitement	ta	Im	Pu	SPu	Pi	L	Dr	W	Kr	Rx	Fn	E	Cs	Cx
TS.1.14.1	1: grav.					6,3	0,9	0,3	24,5	3,4	(4,5)	(56,5)	2,0	-	0,2
TS.3.14.1	2. meuble 2/1	20 h	60	25	800	2,8 0,44	4,2 4,8	0,7	21,3	16,5 4,8	(15,5)	(45,7) 0,8	12,0 5,9	0,47	0,2
TS.1.26.1	1: grav.					3,3	14,3	1,4	51,0	21,8	(26)	(20,3)	38,0	?	0,2
TS.3.26.1	2: meuble 2/1	20 h	60	65	1000	3,2 0,98	21,3 1,5	1,1	45,4	32,0 1,5	(25)	(36,6)	18,2 0,48	1,4	0,05 0,2

1. Réf. : numéro de référence de la parcelle

2. Traitement subi par la parcelle

3. ta : temps de ressuyage entre deux averses (heures)

4. Im : intensité de l'averse (mm/h)

5. Pu : hauteur de la pluie utile (mm)

6. SPu : hauteur cumulée des pluies depuis le début des essais (mm)

7. Pi : hauteur de la pluie d'imbibition (mm)

8. L : hauteur de la lame ruisselée (mm)

9. Dr : hauteur de la détention superficielle récupérable (mm)

10. W : hauteur de la lame infiltrée (mm)

11. Kr : coefficient du ruissellement (%) = $\frac{100}{Pu}$

12. Rx : intensité maximum du ruissellement en palier (mm/h)

13. Fn : intensité minimale de l'infiltration en palier (mm/h)

14. E : érosion globale (Kg/ha)

15. Cs : maximum de turbidité (g/l)

16. Cx : palier de la turbidité (g/l)

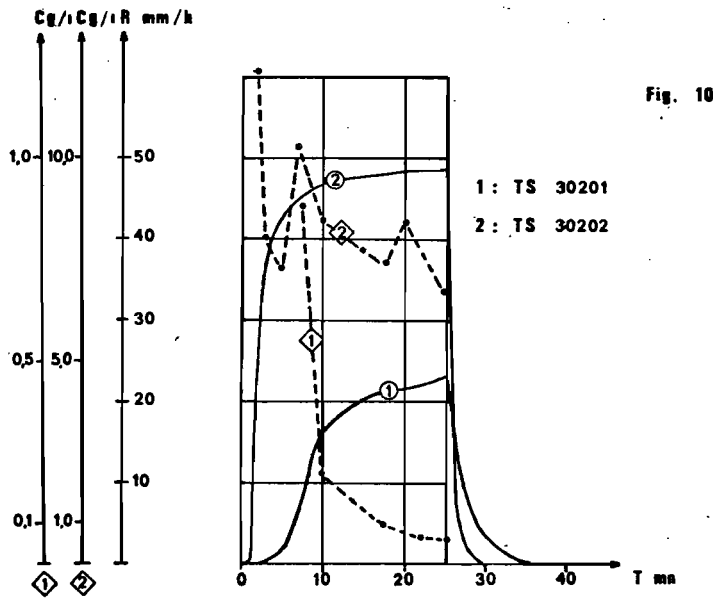
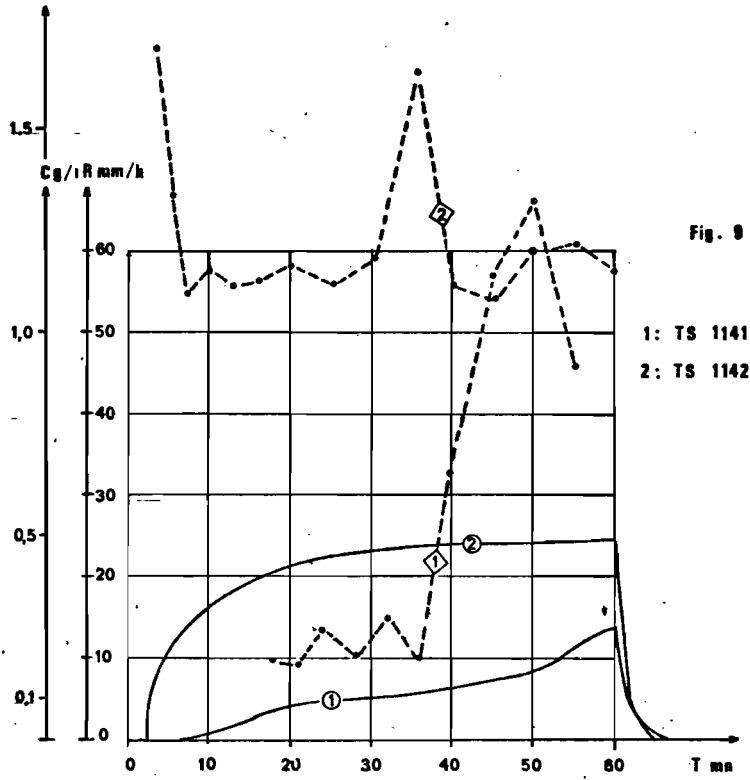


TABLEAU N° V : EFFETS DU LABOUR

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Réf.	Traitement	ta	Im	Pu	SPu	Pi	L	Dr	W	Kr	Rx	F _N	E	Cs	Cx
TS.1. 2.1 TS.A. 2.2	1: nat. 2: labour 2/1	90 h	60	105	200	19,6 38,5 1,96	12,2 1,6 0,1	0,8 0,08	98,6 109,2 1,1	11,0 1,5 0,1	(21,0) (4,0)	(42,3) (59,3) 1,4	11,1 4,1 0,37	0,21 0,35 1,7	0,05 0,25 5,0
TS.1.14.1 TS.1.14.2	1: nat. 2: labour 2/1	20 h	60	60	800	6,3 2,1 0,33	5,4 21,3 3,9	0,3 0,6	55,6 39,7 0,7	8,9 35,0 3,9	(13,5) 25,0 1,8	47,5 36,0 0,8	37,5 252,4 6,73	1,3 1,7 1,3	? 1,2
TS.3.20.1 TS.3.20.2	1: nat. 2: Labour 2/1	15 h	60	25	850	2,4 0,9 0,37	6,9 18,7 2,7	0,9 0,7 0,8	19,1 7,3 0,4	26,5 71,8 2,7	(23,0) 48,5	(39,4) 13,9	9,9 1503,0	0,9 12,1	0,6 8,0

1. Réf. : numéro de référence de la parcelle
2. Traitement subi par la parcelle
3. ta : temps de ressuyage entre deux averses (heures)
4. Im : intensité de l'averse (mm/h)
5. Pu : hauteur de la pluie utile (mm)
6. SPu : hauteur cumulée des pluies depuis le début des essais (mm)
7. Pi : hauteur de la pluie d'imbibition (mm)
8. L : hauteur de la lame ruisselée (mm)

9. Dr : hauteur de la détention superficielle récupérable (mm)
10. W : hauteur de la lame infiltrée (mm)
11. Kr : coefficient de ruissellement (%) = $\frac{100 L}{Pu}$
12. Rx : intensité maximum du ruissellement en palier (mm/h)
13. F_N : intensité minimale de l'infiltration en palier (mm/h)
14. E : érosion globale (Kg/ha)
15. Cs : maximum de turbidité (g/l)
16. Cx : palier de la turbidité (g/l)

CONCLUSION

Les liaisons que nous venons d'établir entre les données morphologiques de la surface du sol et les modifications de sa dynamique sont relativement faciles à établir car dans la plupart des cas, nous avons joué sur l'absence ou la présence d'une composante du milieu naturel ou perturbé. Ceci a été possible en télescopant soit le temps (modification du couvert végétal), soit l'espace (expérimentation multilocales). Ces interrelations sont parfois moins directes et nous voudrions attirer l'attention sur les implications dynamiques de modifications beaucoup plus subtiles d'organisations naturelles. Toujours dans ce sud-ouest ivoirien, nous avons eu l'occasion de comparer les comportements hydrodynamiques de deux portions de versant, l'une sous forêt sempervirente, l'autre sous culture traditionnelle. D'une façon générale, il apparait une augmentation du ruissellement principalement dès la mi-versant. La confrontation d'un grand nombre de relevés d'états de la surface du sol nous a permis d'attribuer cette diminution de l'infiltrabilité, sous défriche cultivée au colmatage d'un grand nombre de porosités qui débouchaient à la surface du sol lorsque le couvert était forestier. Les observations détaillées ont montré que cette modification était surtout dûe à de grands bouleversements dans l'activité de la faune, principalement dans celle des vers de terre et peut être aussi des termites. Ces modifications semblent être imposées par d'importants changements dans l'hygropériodisme, les amplitudes thermiques et probablement aussi les éclaircissements. Dans cette cascade de facteurs nouveaux, il semble bien qu'un seuil peu réversible ait été franchi. Une conclusion partielle est que, dans ce domaine, il est primordial de relier tous comportements dynamiques avec les données des autres naturalistes, donc d'intégrer le plus possible les connaissances.

BIBLIOGRAPHIE

- ARSTON (A.R.) - 1979 : Rainfall interception by eight small trees. Journal of hydrology - 42, 383-396.
- AVENARD (J.M.) - 1971 : Aspect de la géomorphologie in "Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire" - Mém. ORSTOM, n° 50, pp. 1-71.
- BENTLY (W.A.) - 1904 : Studies of raindrops and raindrop phenoma. Monthly weather review, 32, 450-456 - Cité par CARTER et AI - 1974
- CARDON (D.) - 1979 : Un an de mesures d'interception de la pluie en forêt de Taï. ORSTOM/MAB Adiopodoumé. - 15 p., multigr.
- CARTER (E.E.), GREER (J.D.), BRAUD (H.J.), FLOYD (J.M.) - 1974 : Raindrops characteristics in South Central United States. Tr. of the ASAE, pp. 1033-1037.
- DEFANT (A.) - 1905 : Gestzmaessigkeiten in der Verteilung der Verschiedenen Tropfen groessen bei Regenfoellen. K. Akad. wiss, n° 5, pp. 585-646 - Citeis par LAWS et PARCONS 1943.
- ELLISON (W.D.) - 1947 : Soil erosion studies. Ag. Eng, 28, 197.
- HUDSON (N.W.) - 1965 : The influence of rain fall on the mechanics of soil erosion with partial reference to Rhodesia. M. SCI. Thesis. Univ. of Cape. Town.
- JACKSON (I.J.) - 1971 : Problems of throug fall and interception assessment under tropical forest - Journal of Hydrology 12, 234-254.
- KER (A.D.R.) - 1954 : The measurement of rainfall intensity, Drop size distribution and impactive force, unpublised thesis for Dip in Trop. Agric. Trinidad 26 p.

- LAWS (J.C.), PARSONS (D.A.) - 1943 :
The relation of raindrop size to intensity -
Tr. of the Am. Geophys. Union, 24, 452-459.
- LEMEE, BERNHARD, REVERSAT, HUTTEL - 1975 :
La terre et la vie - Vol. 29, pp. 169-264.
- MIHARA (Y.) - 1951 : Raindrop and soil erosion - Bull. of the
National inst. of Agric. SC - Série A, 1
- POSS (R.) - 1978 : La dynamique de l'eau saturante dans les sols
de la périphérie d'un inselberg, en milieu
ferrallitique de transition (Nord Côte
d'Ivoire). Typologie des sols et tests hydro-
dynamiques. Cah. ORSTOM - Ser. Pédol., XVI,
n° 2, pp. 131-154.
- RICHARD (J.F.), KAHN (F.), CHATELIN (Y.) - 1977 :
Vocabulaire pour l'étude du milieu naturel
(tropiques humides). Cah. ORSTOM - Sér. Pédol.,
XV, 1, pp. 43-62.
- RIEU (M.) - 1972 : Etude pédologique et morphologique du bassin
versant de Sakassou -
ORSTOM, Adiopodoumé, 231p., multigr.
- TACKETT (J.L.), PEARSON (R.W.) - 1965 :
Some characteristics of soil crusts formed
by simulated rainfall - Soil science,
vol. 99, n° 6, pp. 407-413.
- VALENTIN (C.) - 1978 : Divers aspects des dynamiques actuelles de
quelques sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire.
Recherches méthodologiques - Résultats et
interprétations agronomiques.
ORSTOM - Adiopodoumé - 141 p., multigr., 81 fig.
- VALENTIN (C.) - 1979 : Diamètre et énergie cinétique des pluies en
basse Côte d'Ivoire. Influence du couvert
végétal (à paraître).
- WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.) - 1958 :
Rainfall energy and its relationship to soil
loss - Tr. Am. Geophys. Union, vol. 37, n°2,
pp. 285-291.
- WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.) - 1960 :
A universal soil loss estimating equation to
guide conservation form planning. 7th. intern.
long. Soi. Scie. Madison. Wisc., 1, pp.418-425.

Collinet Jean, Valentin Christian

Un schéma des interrelations hydrodynamiques dans les milieux naturels et cultivés : valorisation des données morphologiques

Adiopodoumé : ORSTOM, 1979, 23 p. multigr.