

Evolution des sols sous palmeraie après défrichement de la forêt

M. OLLAGNIER (1), A. LAUZERAL (2), J. OLIVIN (2), et R. OCHS (3)

Résumé. — La préservation de l'environnement, et des sols en particulier, est indispensable pour assurer la continuité de la production agricole. L'I. R. H. O. s'est donc préoccupé de déterminer quels pouvaient être les effets sur l'évolution des sols des techniques utilisées pour créer et exploiter une plantation industrielle de palmiers. Les résultats sont rassurants et confirment le bien-fondé des méthodes préconisées. Les travaux réalisés par l'O. R. S. T. O. M. en Côte-d'Ivoire ont montré que les risques d'érosion sont pratiquement nuls en plantation adulte quand le sol est bien protégé par la plante de couverture. Pour sa part l'I. R. H. O. a étudié l'évolution de la matière organique, du pH et du complexe absorbant du sol pour des plantations âgées de 1 à 14 ans, le sol étudié appartenant à la grande formation des sables sédimentaires du Tertiaire (La Mé, Côte-d'Ivoire).

Dans l'année qui suit le défrichement on constate pour le carbone, l'azote total, les acides humiques, une augmentation des teneurs dans l'interligne andainé par rapport aux teneurs sous forêt. Les teneurs de l'interligne dégagé, qui ne profite pas de la décomposition de l'andain, sont au plus égales aux teneurs initiales. Dans les années qui suivent on assiste à une baisse plus ou moins importante des teneurs, selon les éléments, jusque vers 4 ans. Elles se stabilisent ensuite dans la couche superficielle (0-30 cm) à 60 p. 100 de la teneur sous forêt pour la matière organique, 75 p. 100 pour l'azote, 35 p. 100 pour les acides humiques et 65 p. 100 les acides fulviques. La diminution du rapport C/N traduit bien une accélération des processus de minéralisation. La somme des cations échangeables de la couche superficielle après avoir été fortement augmentée 1 an et 4 ans après la plantation, par le brûlis et la décomposition des andains, se stabilise à 90 p. 100 de la teneur sous forêt. L'élévation du pH durant les premières années, et surtout dans l'interligne andainé, traduit une augmentation du taux de saturation. Le potassium, élément essentiel, a des teneurs nativement faibles pour le palmier dans ce type de sol ; il représente moins de 10 p. 100 de la somme des cations et son évolution est difficile à saisir mais sa teneur semble augmenter dans l'interligne andainé.

Le sol sous palmeraie tend donc à évoluer vers un nouvel état chimique qui s'est révélé être très favorable à la culture industrielle de plusieurs générations successives de palmiers à condition de prendre un certain nombre de précautions lors de la préparation des terres et de l'exploitation ultérieure. Le problème est identique pour le cocotier dont la culture est très voisine de celle du palmier.

La mise en valeur du milieu naturel par l'agriculture ne doit pas avoir pour unique objectif de produire le plus possible au moindre coût. Il faut aussi et surtout se préoccuper de l'évolution à long terme de l'outil de production ainsi créé, pour assurer sa pérennité. Les exemples de mise en valeur ayant entraîné la perte de vastes surfaces de terres cultivables sont très nombreux au siècle dernier, et encore de nos jours bien que les agronomes se soient préoccupés depuis fort longtemps de mettre au point des techniques spécifiques pour assurer la conservation des sols et leur fertilité.

Pour le palmier à huile, les techniques de préparation et d'exploitation ont été mises au point sans perdre de vue cet objectif mais il était nécessaire de vérifier dans quelles mesures cette louable intention avait été suivie d'effet.

L'évolution physique des sols sous différents types de couverts végétaux a surtout été étudiée par l'O. R. S. T. O. M. dont les travaux serviront de référence. L'I. R. H. O., pour sa part, a cherché à préciser l'évolution de la matière organique et du complexe absorbant sous palmeraie par rapport au sol initial sous forêt.

Les techniques préconisées par l'I. R. H. O., et qui ont été utilisées pour créer des dizaines de milliers d'hectares de plantations industrielles de palmiers ou de cocotiers en zones forestières tant en Afrique qu'en Amérique latine, sont bien connues et on se limitera à en rappeler les grandes lignes :

— abattage mécanique avec des tracteurs à chaînes de grande puissance (250 à 300 HP) équipés de bras d'abattage. Ce travail est interrompu durant les mois les plus pluvieux (plus de 400 mm de pluie). Il est possible de combiner l'abattage manuel à l'aide de tronçonneuses et l'arasage mécanique des souches avec la lame Rome KG (munie d'un éperon tranchant) montée sur des tracteurs de 200 HP ;

- brûlis contrôlé en saison sèche ;
- tronçonnage mécanique des gros troncs ;
- andainage, un interligne sur deux, à l'aide de tracteurs à chaînes d'environ 200 HP équipés de lames râteau. Ce travail doit s'effectuer durant les mois les plus secs (250 mm de pluie au maximum) pour éviter de décaper le sol détrempe ;
- semis d'une légumineuse, en général *Pueraria javanica*, dès la fin de l'andainage pour couvrir rapidement le sol (6 mois), le préserver de tout risque d'érosion, de lessivage et d'insolation directe ;
- la plantation de palmiers s'effectue quelques semaines plus tard quand la saison des pluies est bien installée ;
- par la suite l'entretien consiste surtout à maintenir propre par désherbage manuel ou chimique (6 à 10 fois par an) le « rond » au pied de chaque palmier. Il faut également éviter les premiers mois que la jeune plante de couverture ne soit dominée par le recru et par des plantes nuisibles (*Imperata*, *Eupatorium*, sétaire...). Vers l'âge de 6 ans cette couverture commence à disparaître par manque d'ensoleillement, elle est alors remplacée par une végétation herbacée spontanée qui peut être rabattue manuellement ou mécaniquement (1-2 fois/an) ;
- à partir de l'âge de 3 à 4 ans le principal travail à effectuer en plantation (3-4 fois/mois) est la récolte. Le portage des régimes jusqu'au bord des pistes peut être manuel, mécanique (tracteurs de 5 à 10 HP) ou assuré par des animaux de bât.

LE MILIEU NATUREL

Le climat et la végétation.

Le climat favorable à l'élaéculture est de type tropical ou équatorial humide avec une normale de précipitations supérieure à 1 800 mm, un déficit hydrique moyen annuel dépassant rarement 300 mm. Sauf exception, la température moyenne est de l'ordre de

(1) Directeur des recherches à l'I. R. H. O., Paris.

(2) Département Agronomie de l'I. R. H. O.

(3) Directeur du Département Agronomie de l'I. R. H. O.

25-26 °C et la radiation solaire de 330 cal/cm²/jour. La végétation climacique qui résulte d'un tel climat est la forêt primaire sempervirente telle qu'on peut encore la rencontrer en Amazonie et qui forme un équilibre stable tant du point de vue quantitatif que du point de vue qualitatif. Mais le plus souvent elle a donné naissance à une forêt secondaire (forêt de type guinéen, mésophile ou ombrophile de Côte-d'Ivoire) à la suite des défrichements effectués par l'homme pour ses cultures itinérantes. Quand cette action, presque toujours incontrôlée, se poursuit et s'intensifie, et c'est actuellement souvent le cas du fait de l'accroissement démographique, la forêt secondaire disparaît à son tour pour être progressivement remplacée par une végétation naturelle de plus en plus pauvre, voire même à l'extrême par la savane à *Imperata cylindrica*. Cette dégradation progressive de la végétation naturelle révèle des modifications profondes de la fertilité des sols et peut-être même du climat.

La plantation industrielle de palmiers à huile constitue au contraire un peuplement dense d'arbres assurant rapidement un couvert fermé, voisin du couvert forestier avoisinant du point de vue climatique. On a pu observer en Colombie une baisse jusqu'à 1 800 mm de la pluviométrie les premières années de plantation puis une remontée au moins jusqu'à la normale initiale de 2 500 mm quand le couvert de palmiers atteint son développement total (6-7 ans).

Les sols.

Les sols rencontrés sous ces forêts sont généralement des sols ferrallitiques relativement pauvres en matière organique et désaturés dont les caractéristiques principales sont les suivantes :

— sols très profonds, de texture sablo-argileuse en surface avec un horizon B d'accumulation plus argileux en profondeur, la structure est grumeleuse, meuble, favorable au développement des racines sauf s'il existe un horizon induré ou graveleux dense. L'horizon humifère ne dépasse guère 30 cm et correspond à la zone principale d'exploitation racinaire ;

— sols chimiquement pauvres, très désaturés sur tout le profil, seul l'horizon supérieur humifère possède une certaine « richesse » chimique toute relative :

- . somme des cations échangeables \simeq 1,5 mé/100 g,
- . capacité d'échange cationique \simeq 7-8 mé/100 g,
- . pH acide 4 à 5,
- . d'où un taux de saturation faible \simeq 20 p. 100,
- . carbone 1 p. 100, azote total \simeq 1 p. 1 000.

Les caractéristiques physico-chimiques des sables sédimentaires (Tabl. I) de Côte-d'Ivoire, qui supportent actuellement 58 000 ha de palmeraies créées depuis 1962, peuvent être prises comme exemple ; c'est le processus climatique d'évolution lié aux précipitations abondantes et aux températures élevées qui crée ce type de sols très appauvris chimiquement et qui aboutit à la formation d'une argile de type kaolinite possédant une faible capacité d'échange. Plus que dans les autres sols la fertilité est liée à la teneur en matière organique qui est le principal support du complexe absorbant.

TABLEAU I. — Principales caractéristiques physico-chimiques des sols formés sur les sables sédimentaires tertiaires du Sud de la Côte-d'Ivoire. — Site de prélèvement : station de recherches de La Mé ; parcelle sous forêt. (Main physico-chemical characteristics of soils formed over tertiary sedimentary sands in the South Ivory Coast - Samples taken on the La Mé Research Station, plot under forest)

Profondeurs (Depths) cm....	0-15	15-30	40-50	90-100
Composition physique (Physical composition) (p. 100)				
Argile (Clay).....	14	17	20	24
Limon fin (Fine silt).....	3	3	3	3
Limon grossier (Coarse silt).....	7	6	3	2
Sables fins (Fine sands)....	22	25	26	18
Sables grossiers (Coarse sands)	54	49	48	53
Matière Organique (Organic matter) (p. 1 000)				
C	12,4	9,9	6,7	4,5
N	0,90	0,64	0,45	0,38
C/N	13,7	15,5	14,9	11,8
Acides humiques (Humic acids)	3,20	1,64	0,86	0,34
Acides fulviques (Fulvic acids)	3,68	3,61	3,28	1,93
pH				
(eau-water)	4,3	4,3	4,4	4,4
(KCl)	3,5	3,7	4,0	4,0
Complexe absorbant (Absorbant complex) (mé/100 g)				
K ⁺	0,04	0,03	0,02	0,02
Mg ⁺⁺	0,36	0,33	0,32	0,30
Ca ⁺⁺	0,58	0,41	0,32	0,25
Na ⁺	0,07	0,07	0,07	0,06
Somme des cations échangeables (Sum of exchangeable cations).....	1,05	0,84	0,73	0,63
Capacité d'échange (Exchange capacity).....	4,68	4,90	3,52	3,26
Taux de saturation (Saturation rate) (p. 100).....	22	17	21	19

LES EFFETS DE LA MISE EN CULTURE

Les facteurs climatiques, surtout la pluie, sont très agressifs en climat tropical. Il faut donc s'efforcer de protéger les horizons supérieurs, les seuls à avoir une certaine fertilité, des dangers qui les menacent après défrichement. Ces dangers correspondent en fait à une accélération brutale du processus d'évolution [1].

● Effets sur les caractéristiques physiques : érosion (décapage des couches superficielles du sol, destruction de la structure) et lessivage des particules solides fines (argile, colloïdes).

● Effets sur les caractéristiques chimiques : destruction de la matière organique et lixiviation des éléments minéraux.

Effets sur les caractéristiques physiques.

L'O. R. S. T. O. M. a mené en Côte-d'Ivoire durant dix-sept années des recherches sur l'érosion sous divers couverts (forêt, plantation, cultures annuelles) et sur des terrains à pentes variables.

Les principaux résultats sont les suivants (Tabl. II) :

— une couverture végétale complète quelle que soit sa nature (savane, plantation avec plante de couverture) se comporte comme la forêt vis-à-vis de l'érosion et du ruissellement en constituant un écran protecteur très efficace. Les données du tableau II font appa-

TABLEAU II. — Erosion et ruissellement annuels moyens sous différents couverts végétaux (O. R. S. T. O. M.)
(Mean annual erosion and surface run off under different plant covers)

Pente (Gradient).....		4,5 p. 100	7 p. 100	23 p. 100
Forêt (Forest)	Erosion (E) Ruissellement (Run off) (R)		0,1 t/ha/an 1 p. 100	0,1 t 1 p. 100
Plantations de palmiers, café, cacao avec une plante de couverture bien développée (Oil palm, coffee and cocoa plantations with a well-developed cover plant)	E R		0,3 t/ha/an 2 p. 100	
Cultures annuelles (Annual crops)	E R		32 t manioc (cassava) 92 t maïs (maize) 22-30 p. 100	
Sol nu (Bare soil)	E R	57 t 37 p. 100	125 t 33 p. 100	520 t 25 p. 100

raître une perte de terre très faible (100 kg/ha/an) par érosion sous forêt ou plantation. Dabin [2] donne pour la forêt une valeur moyenne annuelle plus élevée de l'ordre de 1 t, qui reste de toute façon incomparablement plus faible que pour les cultures annuelles et plus encore que pour le sol nu ;

— si la couverture végétale n'est pas complète le deuxième facteur devient la pente ;

— sous sol nu ou culture annuelle l'érosion entraîne toutes les parties constitutives quelle que soit leur nature, tandis que seuls les éléments fins sont déplacés sous forêt où la force d'impact de la pluie est plus faible.

Des observations effectuées parallèlement sur les indices de structure, les teneurs en matière organique et en cations échangeables d'un sol sous forêt et d'un sol nu (Tabl. III) mettent en évidence l'étroite relation existant entre la teneur en matière organique et les autres facteurs de fertilité.

TABLEAU III. — Action de l'érosion sur la fertilité (O. R. S. T. O. M.). Parcelles expérimentales d'Adiopodoumé (Côte-d'Ivoire) (Action of erosion on fertility - experimental plots at Adiopodoume - Ivory Coast)

	Forêt (Forest)	Parcelle nue (Bare soil)
Indice de structure selon (Structural index according to) Henin.....	1 350	750
Matière organique (Organic matter) (p. 100).....	2,85	1,24
Azote total (Total nitrogen) (p. 100).....	0,151	0,059
C/N.....	11	12,4
Somme des cations échan- geables (Sum of exchange- able cations) mé/100 g.....	1,4	0,14

Il est donc certain, en ce qui concerne le palmier à huile, que l'érosion n'est pas un danger pour le milieu quand la couverture végétale est établie. Des exemples récents montrent cependant que cet équilibre est fragile. Ainsi une surpâturation de la couverture par des bovins a entraîné un début d'érosion même sur pente faible dans une palmeraie d'une dizaine d'années en Côte-d'Ivoire. De même, la mécanisation de la « sortie des régimes » présente un danger si les véhicules ne sont pas munis de pneumatiques très larges pour réduire la pression au sol et éviter la création de rigoles favorisant l'érosion ravinante.

Effets sur les caractéristiques chimiques.

Méthodes d'étude.

L'étude effectuée par l'I. R. H. O. à la station de La Mé en Côte-d'Ivoire a comparé au même moment, par couples, le sol sous forêt (caractéristiques données dans le tableau I) avec les sols de plusieurs parcelles de plantation d'âge variable, établies avec les techniques précédemment décrites. Les deux parcelles de chaque couple, mesurant chacune 36 × 31 m, étaient à proximité de la lisière forêt-palmeraie pour réduire autant que possible « l'effet distance ». La comparaison a porté pour les âges de 1, 2, 4, 9, 14 ans sur 3 objets différents : la forêt (F), interligne andainé (IA) de la palmeraie et interligne dégagé (ID). IA représente environ 1/3 de la surface totale de la parcelle palmeraie et ID les 2/3.

Pour chaque année de plantation, trois emplacements ou répétitions ont été choisis portant le nombre de parcelles élémentaires à 45. Les dosages concernant la matière organique, l'azote, le pH, les cations échangeables ont été faits sur des échantillons relatifs aux profondeurs 0-15, 15-30, 40-50 et 90-100 cm à l'issue d'un échantillonnage « agronomique » ayant porté sur 70 sondages par parcelle élémentaire forêt et 40 par parcelle élémentaire IA ou ID.

Cette méthode d'étude appelle quelques remarques préalables :

— en raison du dispositif de prélèvement, la dénomination « âge de plantation » est confondue avec les effets du temps, du lieu et des modifications possibles des techniques de création. Mais cette démarche a l'avantage par rapport à celle qui consiste à suivre les mêmes parcelles dans le temps d'être plus rapide, d'intégrer la variabilité du milieu et d'éviter les dérivés analytiques ;

— la variabilité entre les teneurs des parcelles F est élevée malgré le grand nombre de prélèvements effectués ;

coefficients de variation sur les parcelles F :		
Profondeurs (cm).....	0-15	15-30
Carbone.....	19,-	16,5
Azote.....	15,2	13,4
Somme des cations.....	22,0	24,0

— par ailleurs, on peut supposer que les phénomènes d'évolution des éléments dans le sol suivent la loi d'action de masse et qu'ils sont proportionnels aux

quantités initiales mises en jeu. De ce fait les effets seraient plutôt multiplicatifs qu'additifs. Ces considérations conduisent à comparer de préférence les teneurs IA et ID en pourcentage des teneurs F correspondantes ;

— compte tenu du confounding au niveau des années de plantation, une analyse statistique d'ensemble présente peu d'intérêt. Par contre elle a été faite pour chaque année, prise individuellement, afin de comparer les teneurs de ID et IA à celles de F dans la couche 0-30 cm. Cette interprétation a nécessité une transformation logarithmique des données initiales (pourcentages) pour que la distribution se rapproche plus de la distribution normale. Le niveau de signification pour le test F est cependant rarement atteint, même pour des différences importantes entre les trois objets, à cause de la variabilité élevée. L'interprétation doit être basée plus sur l'évolution générale des phénomènes que sur les résultats du test statistique.

Résultats. Discussion.

a) Matière organique-carbone (Fig. 1).

En année 1 le taux moyen de carbone de la couche superficielle (0-30 cm) croît dans l'IA, suite aux accumulations de bois de l'andain, alors que ceux de l'ID et de F sont identiques. Ceci tendrait à prouver que

l'andainage a été correctement fait sans décapage du sol de surface.

De 1 à 4 ans il se produit une baisse généralisée des teneurs en carbone du sol superficiel en palmeraie, atténuée cependant en IA du fait des restitutions provenant de l'andain, ID et IA représentent à 4 ans, respectivement, 65 et 84 p. 100 de F. La baisse est ensuite beaucoup plus lente jusqu'à 14 ans. Le taux de carbone moyen (IA + ID) pour la palmeraie semble se stabiliser entre 55 et 65 p. 100 du taux F. Les mesures faites à 9 ans montrent une légère hausse par rapport au niveau de 4 ans aussi bien pour IA que pour ID. Cette variation semble difficile à expliquer sans connaître les valeurs intermédiaires (décomposition des bois les plus durs, effet de la variabilité dans l'espace ?).

Les teneurs des deux couches 0-15 et 15-30 cm, qui ne sont pas données dans cet article, indiquent une évolution identique de la matière organique qui autorise de considérer l'évolution globale de la couche 0-30 cm.

En ce qui concerne les couches profondes où les teneurs sont nativement faibles l'enrichissement du taux de carbone de l'IA en année 1 est très faible à 40-50 cm et nul à 90-100 cm. On constate également une baisse jusqu'à 4 ans qui est de 30 p. 100 à 40-50 cm, suivie d'une remontée. La teneur en carbone des couches profondes se stabilise, à partir de 9 ans, à environ 85 p. 100 de la valeur de F.

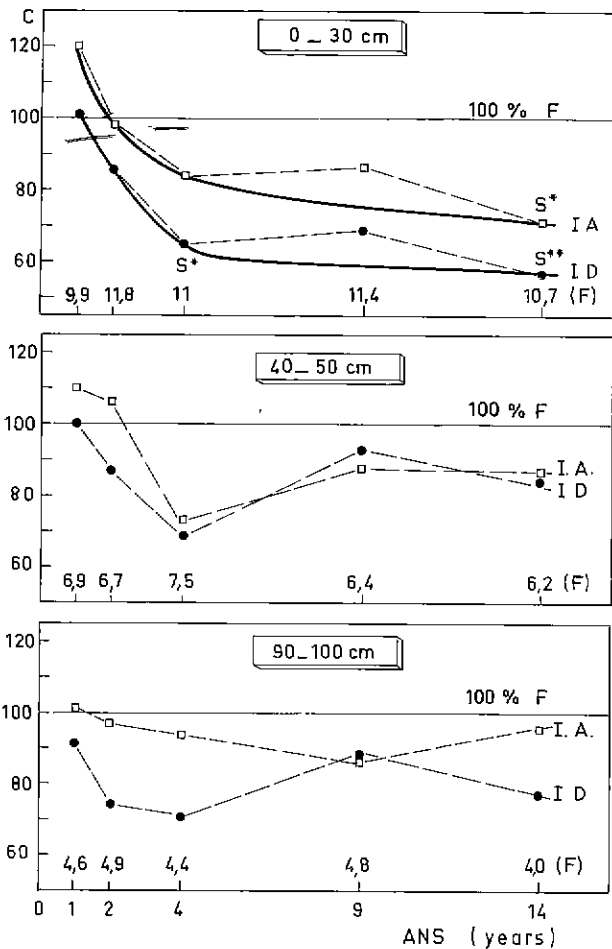


FIG. 1. — Evolution du carbone (Evolution of carbon). (F) : Taux de carbone sous forêt en p. 1 000 (P. 1 000 carbon under forest).

I. A. : interligne andainé (interline windrowed) — I. D. : interligne dégagé (interline cleared). I. A. et I. D. exprimés en p. 100 de F (I. A. and I. D. expressed as a p. 100 of F).

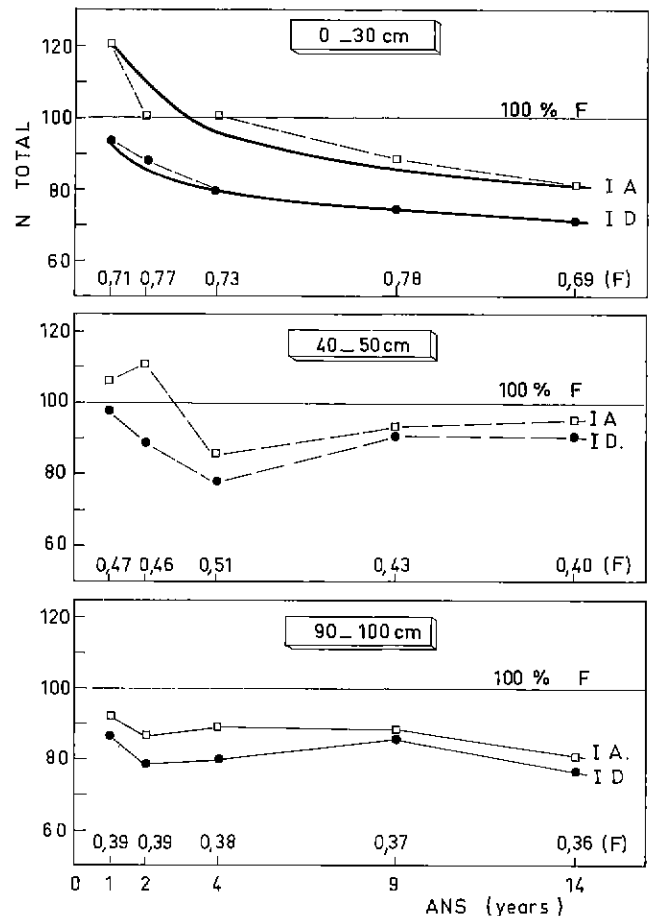


FIG. 2. — Evolution de l'azote total (Evolution of total nitrogen). (F) : Taux d'azote sous forêt en p. 1 000 (P. 1 000 nitrogen under forest).

Le N. I. F. O. R. [3] a mené pendant 10 ans au Nigeria une expérience comparative entre divers traitements (brûlis, non brûlis, type et entretien de la couverture) qui confirme les résultats précédents. Une chute régulière du taux de carbone dans l'horizon supérieur a été constatée pour toutes les parcelles. Par contre, aucune différence sensible n'a été révélée entre les parcelles incinérées et non incinérées.

b) Azote total (Fig. 2).

L'évolution de l'azote est très semblable à celle du carbone mais la baisse est plus régulière et surtout beaucoup plus lente puisqu'à 4 ans la teneur de IA est encore égale à celle de F. A 14 ans la teneur moyenne pour la palmeraie (IA + ID) représente 75 p. 100 de celle de F. Le rapport C/N (Tabl. IV) plus faible en palmeraie qu'en forêt à partir de l'année 4 et surtout pour l'ID, ce qui est logique, montre que le taux de minéralisation est plus rapide après la mise en valeur. La baisse du rapport C/N se fait encore sentir à 40-50 cm. Il se crée donc un nouvel équilibre microbiologique, contrôlant l'évolution de la matière organique dans les couches superficielles du sol.

TABLEAU IV. — Evolution du rapport C/N
(Evolution of C/N ratio)

Age -ans (Years)	Objets (Treatments)	0-30 cm	40-50 cm	90-100 cm
1	F	13,3	14,6	12,0
	IA	13,7	14,4	12,8
	ID	14,6	14,6	12,2
2	F	15,3	14,7	12,6
	IA	15,2	14,1	13,9
	ID	14,9	14,4	11,6
4	F	15,3	14,7	11,0
	IA	12,7	12,5	11,9
	ID	12,4	13,0	10,4
9	F	14,8	14,8	13,4
	IA	14,4	14,2	12,3
	ID	14,0	15,0	12,2
14	F	15,6	15,6	11,4
	IA	13,6	14,4	13,3
	ID	12,6	13,1	11,5

c) Acides humiques (AH) et fulviques (AF) (Fig. 3).

La courbe d'évolution des AH dans la couche superficielle (0-30 cm) est très voisine de celle du carbone tandis que la courbe relative aux AF est voisine de celle de l'azote. La teneur en AH se stabilise en palmeraie à seulement 35 p. 100 de celle de F tandis que celle des AF se stabilise à 65 p. 100. Il est à remarquer par ailleurs que les AF sont beaucoup moins influencées par les objets IA et ID que les AH. Le rapport AF/AH déjà supérieur à 1 pour F augmente, traduisant une moindre polymérisation des composés humiques sous palmeraie. Ce résultat va de pair avec une baisse sensible du rapport C/N pour montrer une minéralisation plus rapide de la matière organique sous palmeraie.

En profondeur, à 40-50 cm, les AH se stabilisent en palmeraie à 50 p. 100 de la valeur de F tandis que les AF restent à 90 p. 100. Comme en surface la mise en culture modifie beaucoup moins le taux des AF.

d) pH (Tabl. V).

Le pH (eau) naturellement très acide du sol sous forêt, augmente assez sensiblement dans l'horizon de

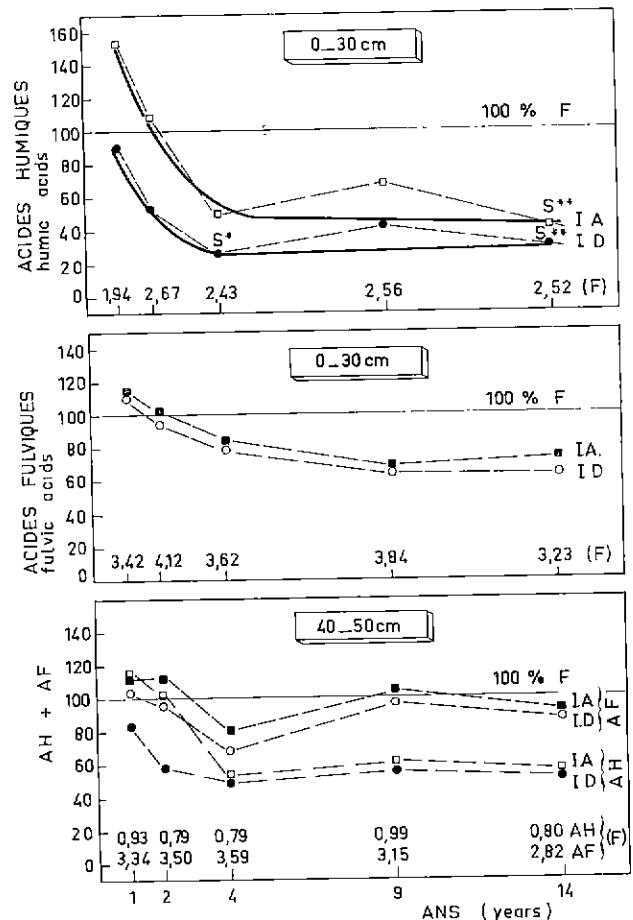


FIG. 3. — Evolution des acides humiques et fulviques (Evolution of humic and fulvic acids). (F) : Taux d'acides humiques — oujet — fulviques sous forêt en p. 1 000 (Humic — orjand — fulvic acids under forest p. 1 000).

surface (0-30 cm) en année 1 puisqu'il passe de 4,4 à 5,1. On peut expliquer cette augmentation de pH par l'apport des cendres, riches en bases, à la suite du brûlis. Par la suite, dès l'année 2, les différences entre le pH diminuent surtout pour ID qui se classe en intermédiaire de F et de IA. On constate par ailleurs une très légère augmentation du pH à 40-50 cm, surtout pour IA.

La méthode de préparation des terres préconisée par l'I. R. H. O. n'augmente donc pas l'acidité naturelle des sols.

TABLEAU V. — Evolution du pH-eau
(Evolution of pH-water)

Age -ans (Years)	Objet (Treatment)	0-30 cm	40-50 cm	90-100 cm
1	F	4,4	4,5	4,5
	IA	5,1	4,8	4,7
	ID	5,1	4,7	4,6
2	F	4,2	4,3	4,4
	IA	4,5	4,6	4,5
	ID	4,5	4,5	4,4
4	F	4,4	4,4	4,4
	IA	5,2	4,8	4,6
	ID	4,7	4,4	4,5
9	F	4,3	4,5	4,5
	IA	4,8	4,8	4,7
	ID	4,6	4,7	4,7
14	F	4,3	4,2	4,2
	IA	4,8	4,7	4,3
	ID	4,6	4,4	4,4

Les mêmes tendances sont observées pour le pH (KCl).

e) *Cations échangeables.*

● Somme des bases (Fig. 4) :

En année 1 la somme des cations échangeables de la couche superficielle (0-30 cm) est plus élevée en palmeraie qu'en forêt. La différence est très importante ($\times 2,6$) pour l'IA. Cette augmentation des teneurs est due d'une part au brûlis et, d'autre part pour IA, à la décomposition des bois qui entraîne une libération supplémentaire de cations. Ce fort enrichissement en cations est néanmoins très fugace probablement à cause du lessivage par les pluies puisque en année 2 les teneurs de IA et de ID sont presque redescendues au niveau de F. Par contre, en année 4 on assiste à un nouvel enrichissement relatif en cations, inférieur à celui de l'année 2 aussi bien pour IA que pour ID, qui est dû probablement à la poursuite de la décomposition de l'andain et à celle de la plante de couverture. Ensuite la somme des cations diminue lentement et à 14 ans elle représente en moyenne pour la palmeraie 80 p. 100 de celle de la forêt.

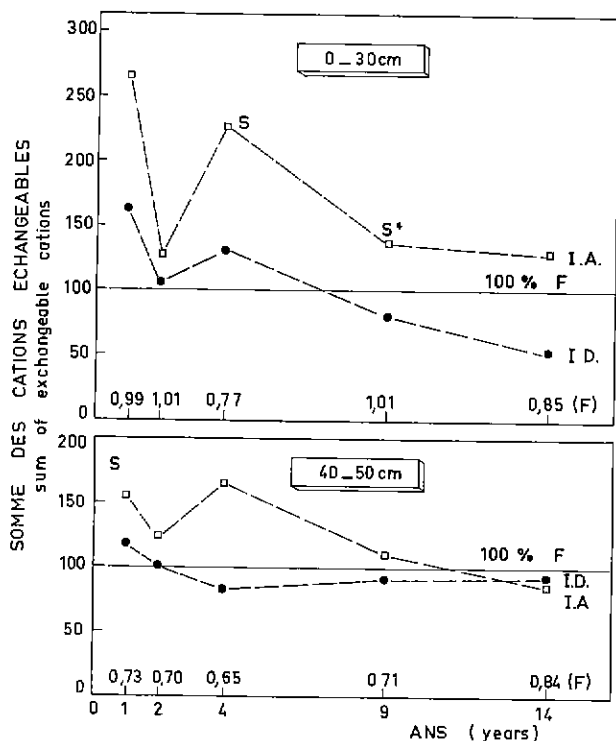


FIG. 4. — Evolution de la somme des cations échangeables (Evolution of the sum of exchangeable cations). (F) : Taux de cations échangeables sous forêt en mé/100 g (Exchangeable cations under forest, meq/100 g).

A 40-50 cm on observe des variations identiques mais d'amplitude moins marquée pour IA ; par contre, les teneurs de ID sont presque équivalentes (± 90 p. 100) à celles de F dès l'année 4.

Les variations de la somme des cations ne suivent donc pas, sauf en année 1, celles de la matière organique. Par contre, elles suivent assez bien celles du pH qui, par la remontée en année 4, indiquait bien une augmentation du taux de saturation. Le fait que la palmeraie empêche un appauvrissement brutal en cation en dessous du niveau initial de la forêt démontre bien ses qualités préservatrices vis-à-vis de la fertilité du sol.

● Les différents éléments du complexe absorbant (Tabl. VI) :

Les teneurs en potassium sont très faibles et comprises entre 0,02 et 0,09 mé/100 g dans la couche superficielle (0-30 cm) et la plupart du temps égales à 0,04 ou 0,05 mé. K représente moins de 10 p. 100 de la somme des cations. Les différences entre objets sont voisines de l'erreur analytique et ne permettent pas de mettre en évidence en toute certitude un effet des objets sur cet élément pourtant essentiel pour le palmier. La teneur augmente probablement pour IA avec un maximum en année 4 (?) tandis qu'elle semble rester égale à F pour ID.

Les teneurs en Mg, et surtout Ca, sont évidemment plus élevées puisque pour F elles représentent respectivement ± 35 et ± 50 p. 100 de la somme des cations. Il semblerait que dans l'ensemble la mise en culture augmente relativement Ca aux dépens de Mg dans la somme des cations.

TABLEAU VI. — Ca, Mg, K en p. 100 de la somme des cations échangeables - Na incl. (Ca, Mg and K in p. 100 of the sum of exchangeable cations - Na included)

Age - ans (Years)		Ca	Mg	K	Ca + Mg
1	F	48	38	3	86
	IA	79	16	2	95
	ID	77	17	2	94
2	F	59	30	5	89
	IA	68	25	3	93
	ID	58	32	4	90
4	F	49	38	7	87
	IA	63	19	5	82
	ID	64	26	6	90
9	F	43	52	5	75
	IA	72	22	3	84
	ID	60	32	4	92
14	F	59	36	4	95
	IA	75	17	4	92
	ID	24	60	4	84

COMPARAISON DES CYCLES D'ÉLÉMENTS MINÉRAUX DANS LA PALMERAIE ET EN FORÊT.

Les transformations enregistrées au niveau des caractéristiques chimiques des sols sont en partie liées aux changements intervenus dans le cycle des éléments minéraux.

La forêt climacique qui vit en cycle fermé est caractérisée par un prélèvement et une restitution continus des éléments minéraux du sol. Le cycle de restitution est rapide pour les éléments inclus dans la litière tandis qu'il est beaucoup plus lent pour ceux qui font partie des organes pérennes des végétaux supérieurs. Par contre, en palmeraie le cycle est plus compliqué et les éléments minéraux suivent trois voies différentes :

— une partie est restituée au sol, à l'issue d'un cycle court, par les feuilles mortes, les inflorescences mâles pourries et aussi les racines mortes ;

— une partie est immobilisée dans les stipes pendant 20 à 25 ans ;

— la dernière partie est exportée par la production de régimes, mais ces exportations sont souvent compensées par les engrais ou même les cendres, riches en K_2O provenant de l'incinération des rafles qui peuvent être épandues, en plantation.

Plusieurs auteurs ont étudié les cycles des éléments minéraux. F. Bernhard-Reversat [4] a estimé dans le cas de la forêt du Banco (Sud Côte-d'Ivoire) les quantités d'éléments minéraux restitués annuellement par la seule litière tandis que Ng Siew Kee, entre autres, [5] a déterminé dans le cas de palmeraies de Malaisie la part relative de chacune des trois voies citées au paragraphe précédent. Comme le montrent les résultats un peu différents fournis par d'autres sources, ces estimations sont difficiles à faire, dépendent de l'écologie et ne sont donc à considérer qu'en ordre de grandeur.

Le tableau VII résume les résultats des travaux des deux auteurs (pour la palmeraie, la couverture des interlignes n'intervient pas dans les bilans), les exportations calculées pour une production de 25 t de régimes par Ng Siew Kee ont été ramenées au rendement de 17 t obtenu à la Station de La Mé. Les restitutions et les immobilisations sont peut-être aussi un peu plus faibles à La Mé où le matériel végétal interorigines est moins développé que le matériel Déli de Malaisie.

Les données du tableau VII montrent que les éléments les plus importants pour le palmier sont l'azote et le potassium, puis viennent ensuite le magnésium, le calcium et enfin le phosphore qui est prélevé en très

faibles quantités. Cependant, même pour l'azote et la potasse, les exportations représentent moins du tiers des prélèvements totaux (le quart en moyenne) alors que près de la moitié de ceux-ci sont restitués très rapidement (la durée de vie d'une feuille n'est que de 40 mois) et le reste, qui ne doit pas être considéré comme définitivement perdu, est immobilisé dans les stipes pendant la durée de vie de la palmeraie. Les exportations définitives importantes, touchent uniquement l'azote et le potassium. Si l'azote n'est pas remplacé, par des engrais, tout au moins en Côte-d'Ivoire, le potassium est restitué annuellement le plus souvent sous forme de KCl à raison de 150 à 300 kg d'engrais à l'ha/an, qui apportent 80 à 180 kg de potassium dont une partie, malgré les pertes par lessivage et les prélèvements, reste fixée au complexe absorbant du sol.

En comparant les restitutions en cycle court en forêt et en palmeraie, on constate que la palmeraie restitue annuellement une quantité totale d'éléments qui se compare très honorablement à celle de la forêt. Les besoins en phosphore des « parties vertes » des deux formations végétales sont faibles, les besoins en potassium sont peut-être un peu plus élevés pour la palmeraie, les besoins en calcium et en magnésium semblent inversés. La forêt est probablement beaucoup plus forte consommatrice d'azote que la palmeraie.

TABLEAU VII. — Quantités d'éléments minéraux restituées annuellement par la litière en forêt — Prélèvements totaux d'éléments minéraux par ha/an pour une production de 17 t de régimes d'après Ng Siew Kee. (Quantities of mineral elements restored each year by the litter under forest — Total removals of mineral elements per ha/year for a yield of 17 tons of bunches according to Ng Siew Kee)

Kg/ha/an (/year)	Forêt du Banco Côte-d'Ivoire (Forest of Banco- Ivory Coast)		Palmeraie (Oil palm plantation)			
	Restitution- litière (Restored-litter)	Restitution-feuilles + fleurs mâles (Restored-leaves + male flowers)	Immobilisations -stipe (Immobilised -trunk)	Exportations par récolte (Removed by harvest) 17 t-régimes (bunches) (*)	Prélèvements totaux (Total removals)	$\frac{c}{a + b + c}$ p. 100
		(a)	(b)	(c)	a + b + c	
N	158	78	41	50	169	30
P	13	11	3	8	22	36
K	80	103	56	64	223	29
Ca	85	29	12	13	54	24
Mg	35	66	14	14	94	15
Total	371	287	126	149	562	27

(*) Calculées initialement pour 25 t par Ng Siew Kee et rapportées à 17 t — rendement dans le Sud-Est de la Côte-d'Ivoire (Originally calculated for 25 t by Ng Siew Kee and brought down to 17 t — yield in the South-East Ivory Coast).

CONCLUSIONS

Il semble donc que sous palmeraie le sol n'ait pas à craindre l'érosion et qu'il tende à évoluer après une dizaine d'années vers un nouvel état chimique situé à un niveau de teneurs compris entre 60 et 90 p. 100 de celui du sol sous forêt selon les éléments. Les expériences montrent que ce nouvel état du sol après 15-20 ans de culture est toujours favorable à la culture du palmier à huile. On observe actuellement des rendements tout à fait satisfaisants sur des parcelles qui sont en cultures industrielles de palmiers depuis 60 ans.

Pour bénéficier de cette mise en culture très conservatrice il est indispensable de gérer le milieu en bon père de famille. Pour cela il faut :

— suivre les méthodes de préparation du terrain décrites en introduction car elles sont suffisamment conservatrices vis-à-vis du milieu ;

— éliminer les pentes fortes ou sinon adopter des mesures spéciales pour éviter l'érosion (culture en terrasses) ;

— éviter la pâture intensive par des troupeaux ;

— déterminer la fumure minérale la mieux adaptée grâce à un contrôle régulier de l'état nutritionnel des arbres.

Ces conclusions sont valables également pour la culture industrielle du cocotier dont les techniques sont très proche de celles de l'élaéculture.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ROOSE E. J. (1970). — Importance relative de l'érosion, du drainage oblique et vertical dans la pédogenèse d'un sol ferrallitique de moyenne Côte-d'Ivoire. *Cahier ORSTOM, série Pédologie*, vol. VIII, n° 4.
- [2] DABIN B. (1964). — Analyse physique et fertilité dans les sols des régions humides de Côte-d'Ivoire. *Cahier ORSTOM, série Pédologie*, vol. II, n° 1.
- [3] TINKER P. B. H. (1963). — Changes occurring in the sedimentary soils of southern Nigeria after oil palm plantation establishment. *Journal of Waifer*, 1963, vol. 4, n° 13.
- [4] BERNHARD-REVERSAT France (1976). — Essai de comparaison des cycles d'éléments minéraux dans les plantations de Frambre et en forêt naturelle de Côte-d'Ivoire. *Bois et Forêts des Tropiques*, N° 167, mai-juin 1976.
- [5] NG SIEW KEE (1972). — The Oil Palm, its culture, manuring and utilisation. *International Polash Institute, Berne*.

SUMMARY

Development of Soils under Oil Palm after Deforestation.

M. OLLAGNIER, A. LAUZERAL, J. OLIVIN and R. OCHS. *Oléagineux*, 1978, **33**, N° 11, p. 537-547.

The preservation of the environment and of the soil in particular is indispensable if the perennity of agricultural production is to be assured. The I. R. H. O. therefore undertook to find out the effects on soil development of the techniques used in the establishment and exploitation of an industrial oil palm plantation. The results are reassuring and confirm the soundness of the methods recommended. Research carried out by O. R. S. T. O. M. in the Ivory Coast has shown that the risk of erosion is practically non-existent in an adult plantation when the soil is well protected by the cover plant. For its part, the I. R. H. O. has studied the evolution of organic matter, the pH and the absorbant complex for plantations aged from 1 to 14 years, the soil in question belonging to the large formation of tertiary sedimentary sands (La Me, Ivory Coast).

It is found that in the year following land clearing the carbon, total nitrogen and humic acid contents in the windrowed interline rise above those occurring under forest. The contents in the cleared interline, which does not benefit from the decomposition of the windrow, are at most equal to the initial levels. From then up to 4 years the levels fall to varying degrees according to the element. Thereafter they stabilize in the topsoil (0-30 cm) at 60 p. 100 of the level under forest for organic matter, 75 p. 100 for nitrogen, 35 p. 100 for the humic acids and 65 p. 100 for the fulvic acids. The diminution of the C/N ratio shows clearly that there is an acceleration of the mineralization process. After a considerable increase 1 and 4 years after planting, due to the burning and decay of the windrows, the sum of exchangeable cations in the surface soil levels out at 90 p. 100 of the content under forest. The rise in the pH in the early years, particularly in the windrowed interline, reflects in increase in the saturation rate. Potassium, an essential element, has natural levels in this type of soil which are low for oil palm; it represents less than 10 p. 100 of the sum of the cations and its evolution is difficult to grasp, but the content seems to increase in the windrowed interline.

The soil under palm grove therefore tends to evolve towards a new chemical status which proves to be very favourable to the industrial cultivation of several successive generations of oil palm on condition that a certain number of precautions are taken during land preparation and the subsequent exploitation. The problem is the same for coconut which is grown with much the same techniques as oil palm.

RESUMEN

Evolución de los suelos en los palmerales después de la tumba de la selva.

M. OLLAGNIER, A. LAUZERAL, J. OLIVIN y R. OCHS, *Oléagineux*, 1978, **33**, N° 11, p. 537-547.

La preservación del medio ambiente, y especialmente de los suelos, es indispensable para asegurar la continuidad de la producción agrícola. Por lo tanto el I. R. H. O. se dedicó a determinar los efectos sobre la evolución de los suelos, de las técnicas utilizadas en la creación y explotación de las plantaciones empresariales de palma, logrando resultados tranquilizadores y que confirman lo bien fundado de los métodos recomendados. Los trabajos realizados por el O. R. S. T. O. M. en Costa de Marfil, muestran que los riesgos de erosión con casi nulos en las plantaciones adultas cuando el suelo resulta bien protegido por la planta de cobertura. Por parte suya el I. R. H. O. estudió la evolución de la materia orgánica descompuesta, del pH y del complejo absorbente del suelo por plantaciones de 1 a 14 años de edad, en un suelo que pertenece a la gran formación de arenas sedimentarias del terciario (La Mé, Costa de Marfil).

Durante el año que se sigue a la tumba se observa para el carbono, el nitrógeno total y los ácidos húmicos un aumento de contenidos en el interlínea apilado en relación al contenido cuando existía la selva. Los contenidos del interlínea despejado que no aprovecha la descomposición del apile, son iguales a los contenidos iniciales cuando más. Durante los años siguientes se observa una baja de contenidos variable según los elementos, hasta aproximadamente la edad de 4 años. Luego se estabilizan en la capa superficial (0-30 cm) a 60 % del contenido cuando existía la selva por la materia orgánica descompuesta, 75 % por el nitrógeno, 35 % por los ácidos húmicos y 65 % por los ácidos fúlvicos. La disminución de la relación C/N expresa efectivamente una aceleración del proceso de mineralización. La suma de cationes intercambiables de la capa superficial aumentó notablemente durante 1 a 4 años después de la siembra, debido a la quema y a la descomposición de apiles, estabilizándose luego a 90 % del contenido cuando existía la selva. El aumento del pH durante los primeros años, y especialmente en el interlínea apilado, expresa un aumento del porcentaje de saturación. Los contenidos de potasio, que es un elemento esencial, son escasos por naturaleza en el caso de la palma en este tipo de suelo; representa menos de 10 % de la suma de cationes, y su evolución es difícil de entender, pero parece que su contenido aumenta en el interlínea apilado.

O sea que en los palmerales el suelo tiende a evolucionar hacia un nuevo estado químico que resultó ser muy favorable al cultivo empresarial de varias generaciones seguidas de palmas, siempre que sean tomadas ciertas precauciones en la preparación de tierras y seguidamente en la explotación. El problema es idéntico al cocoero cuyo cultivo se parece mucho al de la palma.

Development of Soils under Oil Palm after Deforestation

M. OLLAGNIER (1), A. LAUZERAL (2), J. OLIVIN (2) and R. OCHS (3)

The improvement of the natural environment by agriculture should not be done with the sole aim of producing as much as possible as cheaply as possible. It is even more important to take thought for the long term development of the means of production thus created in order to ensure that it will last. There are all too many examples of land improvement having led to the loss of vast tracts of arable land, both in the last century and in our own time, in spite of the fact that for many years agronomists have been working on techniques specifically designed to ensure soil conservation and fertility.

This aim was not lost sight of when the methods of land clearance and exploitation of oil palm were worked out, but it is necessary to find out to what extent this praiseworthy intention has been carried into effect.

The physical evolution of soils under different types of plant cover has been studied mainly by the O. R. S. T. O. M., whose works will serve as a reference. For its part, the I. R. H. O. has sought to define the development of organic matter and the absorbant complex under oil palm compared to the soil under the original forest.

The techniques recommended by the I. R. H. O., and which have been used to create tens of thousands of hectares of industrial oil palm and coconut plantations in forest zones in both Africa and Latin America, are well known and we will merely recall the main lines here :

(1) Director of Research, I. R. H. O., Paris.
 (2) Agronomy Department of I. R. H. O.
 (3) Director of Agronomy Department; I. R. H. O.

— mechanical felling with high-powered chain tractors (250-300 h. p.) equipped with blade booms. This work is stopped during the rainiest months (more than 400 mm). It is possible to combine hand felling by chain saw with mechanical shearing of the stumps by Rome KG blades fitted with a cutting spur and mounted on 200 h. p. tractors ;

— controlled burning in the dry season ;

— chain-sawing of large trunks ;

— windrowing every other interline by chain tractors (± 200 h. p.) with tined dozer blades ; this work should be done in the driest months (maximum 250 mm rain) to avoid scraping the wet topsoil ;

— sowing of a legume, usually *Pueraria javanica*, as soon as windrowing is finished so as to cover the soil quickly (6 months) and preserve it from all risk of erosion and leaching and from direct sunlight ;

— the palms are planted a few weeks later, when the rainy season is well under way ;

— thereafter, maintenance consists mainly in keeping a clean circle round the foot of each palm by hand or chemical weeding 6 to 10 times a year ; in addition, in the early months the domination of the young cover plant by regrowth and weeds (*Imperata*, *Eupatorium*, *Setaria*) must be avoided. By the time the palms are about 6 years old this cover will start to disappear because of the lack of sunlight and is then replaced by spontaneous grassy vegetation which can be slashed mechanically or by hand once or twice a year ;

— from 3 to 4 years onwards, the main work to be done in the plantation is harvesting, 3 or 4 times a month. The bunches can be carried out to the collection roads by hand, by tractor (5-10 h. p.) or by pack animals.

THE NATURAL ENVIRONMENT

Climate and Vegetation.

The climate favourable to oil palm growing is the tropical or humid equatorial type, with a normal rainfall of more than 1 800 mm and a mean annual water which rarely exceeds 300 mm. With few exceptions the average temperature is about 25-26 °C and solar radiation is 330 cal/cm²/day. The climatic climax to which this combination of factors gives rise is the primary evergreen forest such as can still be found in Amazonia, in which a stable balance is maintained, both quantitatively and qualitatively. But more often it results in secondary forest (the Guinean type, the mesophytic or ombrophilic forest of the Ivory Coast), due to clearing by man for shifting cultivation. His action is nearly always uncontrolled and if pursued and intensified, as is frequently the case now because of increasing populations, the secondary forest disappears in its turn to be replaced progressively by ever more impoverished natural vegetation and in the last extremity by *Imperata* savannah. This gradual degradation of the natural cover reflects profound modifications in soil fertility and perhaps even in climate.

On the contrary, the industrial planting of oil palm provides a dense tree population which rapidly forms a close-knit cover similar to that of the neighbouring forest from the climatic point of view. In Colombia it was observed that the rainfall fell to 1 800 mm during the first few years of planting then rose to at least the initial level of 2 500 mm when the palm cover was fully developed (6-7 years).

The Soils.

The soils encountered under these forests are usually ferralitic, poor in organic matter and desaturated, and their principal characteristics are as follows :

— very deep, loamy sand texture on the surface with a B accumulation horizon more clayey in depth ; the structure is crumbly, loose and favourable to the development of the root system, except where there is an indurated or dense gravel horizon. The humus layer barely exceeds 30 cm and is the zone principally exploited by the roots ;

— chemically poor, very desaturated throughout the profile, only the humiferous topsoil has a certain relative chemical « richness » :

- sum of exchangeable cations ≈ 1.5 me/100 g,
- cationic exchange capacity $\approx 7-8$ me/100 g,
- pH acid 4-5,
- hence low saturation rate, ≈ 20 p. 100,
- carbon 1 p. 100, total nitrogen ≈ 1 p. 1 000.

The physico-chemical characteristics of the sedimentary sands of the Ivory Coast (Table I), now supporting 58 000 ha of oil palm plantations created since 1962, can be taken as an example ; it is their development under the influence of climatic factors which include abundant rainfall and high temperatures which creates these chemically very impoverished soils and leads to the formation of kaolinite-type clay with a low

exchange capacity. More than in any other soils fertility depends on the organic matter content which is the chief support of the absorbant complex.

THE EFFECTS OF PUTTING UNDER CROPS

Climatic factors, and particularly rain, are very aggressive in the humid tropics. Therefore an effort must be made to protect the surface horizons, the only ones with a certain fertility, from the dangers which threaten them after land clearing and which correspond in fact to a sharp acceleration of the evolutive process [1].

• Effects on the physical characteristics : erosion (scouring of the topsoil, destruction of the structure) and leaching of the fine particles (clay, colloids).

• Effects on the chemical characteristics : destruction of organic matter and leaching of the mineral elements.

Effects on the physical characteristics.

For seventeen years O. R. S. T. O. M. has been carrying out research in the Ivory Coast on erosion under different covers (forest, plantation, annual crops) and on land at various gradients.

The chief results are as follows (Table II) :

— total plant cover, whatever its nature (savannah, plantation with cover plant) acts in the same way as the forest as regards erosion and runoff, i. e. as a very efficient protective screen. The data in table II show that very little soil is lost through erosion under forest or plantation (100 kg/ha/year). Dabin [2] gives a higher mean annual value for forest, about 1 ton, but even this is infinitely less than for annual crops, let alone bare soil ;

— if the plant cover is incomplete, then gradient becomes the second determining factor ;

— under bare soil or annual crops erosion carries away all the constituents whatever they are, whereas only fine elements are removed under forest where the rain has less force of impact.

Observations made simultaneously on the indices of structure, the organic matter and exchangeable cation rates under forest and on bare soil (Table III) highlight the close relationship between the organic matter content and the other fertility factors.

As far as the oil palm is concerned, therefore, it is certain that erosion is not a danger to the environment when the plant cover is established. However, recent examples show that this balance is fragile ; over-grazing of the cover by cattle has led to the start of erosion even on only slightly sloping land in a palm plantation about 10 years old in the Ivory Coast. In the same way, mechanization of bunch haulage is a threat if the vehicles are not fitted with very wide tyres to reduce the pressure on the soil and avoid ruts which will favour gullyng.

Effects on the chemical characteristics.

Method of Study.

The study made by the I. R. H. O. on the La Me Station in the Ivory Coast compared simultaneously and by pairs the soil under forest (characteristics given in Table I) and those under several plantation plots of different ages, established by means of the techniques already described. Both plots in each pair measured 36 \times 31 m, and were close to the border between the forest and the palm plantation to reduce the « distance effect » as much as possible. Stands aged 1, 2, 4, 9 and 14 years were considered in three treatments : forest (F), interline windrowed (IA) or cleared (ID) in the palm grove. IA represents about one third of the total surface of the oil palm plot, ID two thirds.

Three sites or replications were chosen for each planting year, bringing the number of elementary plots to 45. The analyses of organic matter, nitrogen, the pH and exchangeable cations were made on samples from depths of 0-15, 15-30, 40-50 and 90-100 cm after an « agronomic » sampling comprising 70 borings per forest plot and 40 per IA or ID plot.

We must first make a few remarks about this method of study :

— because of the sampling pattern, the denominator « age of planting » is confounded with the effects of time, place and possible modifications in the techniques of creation. But this approach has the advantage over that consisting in following the same plots in time of being quicker, of taking in the variability of the environment and of avoiding analytic differentials ;

— the variability between the F plots is high in spite of the large number of samples taken :

Coefficients of variation for F plots

Depths (cm)	Coefficients of variation	
	0-15	15-30
Carbon	19.0	16.5
Nitrogen	15.2	13.4
Sum of cations	22.0	24.0

— elsewhere, it can be supposed that the evolution of elements in the soil obeys the law of the effect of mass and is proportional to the quantity originally present; consequently, the effects would be more multiplicative than additive. These considerations lead us to prefer the comparison of the IA and ID levels as percentages of the corresponding F levels;

— in view of the confounding at the level of the planting years, an overall statistical analysis is of little interest. On the other hand, it has been made for each year individually so as to be able to compare the IA and ID levels with those of F in the 0-30 cm layer. This interpretation required the logarithmic transformation of the initial data (percentages) so that the distribution is closer to the normal one. However, the significance level for test F is rarely attained even where there are wide differences between the three treatments, because of the high variability. The interpretation should be based rather on the general evolution of the phenomena than on the results of the statistical test.

Results. Discussion.

a) Organic matter-carbon (Fig. 1).

In Year 1 the mean carbon rate for the top horizon (0-30 cm) grows in IA as the result of the accumulation of timber in the windrow, whereas in ID and F it is the same. This would tend to prove that windrowing was correctly done without scouring of the topsoil.

From 1 to 4 years there is a general fall in carbon levels in the topsoil under oil palm, although it is attenuated in IA because of restitution by the windrow; at 4 years ID and IA present 65 and 84 p. 100 of F respectively. Thereafter the fall is much slower up to 14 years. *The mean carbon level for the palm grove (IA + ID) seems to stabilize between 55 and 65 p. 100 of F.* Measurements taken at 9 years show a slight rise over the 4-year level for both IA and ID; it is difficult to explain this without knowing the intermediary values (decomposition of the hardest timber, effect of a spatial variability?).

The contents of the 0-15 and 15-30 cm layers, which are not given in this article, indicate that the organic matter evolves in exactly the same way as the carbon, therefore the 0-30 cm horizon can be considered as a whole.

As regards the substratum where the contents are naturally low, the enrichment of the carbon rate of IA in Year 1 is very small at 40-50 cm and nil at 90-100 cm. There is also a decline up to 4 years, which at 40-50 cm is 30 p. 100, then the level rises again. *The carbon rate in the substratum stabilizes by 9 years at about 85 p. 100 of the value of F.*

For 10 years in Nigeria N. I. F. O. R. [3] conducted an experiment comparing different treatments (burning, no burning, type and maintenance of cover) which confirmed the preceding results. It was found that carbon fell regularly in the top horizon in all the plots. On the other hand, there was no appreciable difference between the plots where the timber had been burned and those where it had been left to rot down.

b) Total Nitrogen (Fig. 2).

Nitrogen evolves in very much the same way as carbon, but the content falls more regularly and above all much more slowly, since at 4 years the level in IA is still equal to that of F. At 14 years the mean content for the oil palm plantation (IA + ID) is 75 p. 100 that of F. The C/N ratio (Table IV) is lower under oil palm than under forest from year 4 on, particularly for ID; this is logical and shows that the mineralization rate is faster after land improvement. The lowering of the C/N ratio is still perceptible at 40-50 cm. The result is that a new microbiological balance is created, controlling the development of the organic matter in the surface layers of the soil.

c) Humic acids (AH) and fulvic acids (AF) (Fig. 3)

The development curve of the AH in the top horizon (0-30 cm) is very similar to that of carbon, while that of the AF is close to the nitrogen curve. The AH content under oil palm stabilizes at only 35 p. 100 of the F value, whereas that of the AF levels out at 65 p. 100. Furthermore, it is to be noted that the AF are much less influenced by treatments IA and ID than the AH. Already greater than 1 for F, the AF/AH ratio increases, reflecting lesser polymerization of the humic components under oil palm. This result goes hand in hand with a

marked fall in the C/N ratio to show faster mineralization of the organic matter under palm grove.

Further down, at 40-50 cm, the AH stabilize in the palm grove at 50 p. 100 of the F value, whilst the AF remain at 90 p. 100. As in the top soil, the AF rates are much less modified by the change of land use.

d) pH (Table V).

The naturally very acid pH (water) of the soil under forest increases quite a lot in the top horizon (0-30 cm) in year 1, since it rises from 4.4 to 5.1, which can be explained by the contribution of the ashes, rich in bases, resulting from burning. By year 2 the differences between the pH diminish, especially for ID which comes between F and IA. Elsewhere, there is a very slight increase in the pH at 40-50 cm, particularly for IA.

Therefore the land preparation method recommended by the I. R. H. O. does not increase the natural acidity of the soils.

The same tendencies are observed for the pH (KCl).

e) Exchangeable cations.

● Sum of the bases (Fig. 4) :

In Year 1 the sum of exchangeable cations in the surface soil (0-30 cm) is higher under palm grove than under forest; the difference is considerable for IA ($\times 2.6$). This increase in the levels is due in part to the burning and in part, for IA, to rotting of the timber which liberates extra cations. Nevertheless, this high enrichment in cations is very fleeting, probably because of leaching by rain, since in Year 2 the IA and ID levels have almost dropped back to those of F. On the other hand, in Year 4 there is a new and relative enrichment in cations, less than that of Year 2 for both IA and ID, probably due to the continued rotting of the windrows and that of the cover plant. *After that the sum of the cations falls slowly and by 14 years under palm grove the mean is 80 p. 100 of that under forest.*

At 40-50 cm the same variations are observed, although of less marked amplitude for IA; on the other hand, the levels in ID are nearly equivalent to those in F (± 90 p. 100) by Year 4.

Except in Year 1, therefore, variations in the sum of the cations do not follow those of organic matter. However, they are fairly parallel to those of the pH which, by the rise in Year 4, show clearly an increase in the saturation rate. The fact that the oil palm plantation prevents a sharp fall in the cations below the initial level of the forest is marked proof of its preservative action on soil fertility.

● The different elements of the absorbant complex (Table VI) :

The potassium levels are very low; they range from 0.02 to 0.09 me/100 g in the surface soil (0-30 cm), but most of them are 0.04 or 0.05 me. K is less than 10 p. 100 of the sum of the cations. The differences between treatments are close to analytical error and make it impossible to prove with any certainty that there is an effect of the treatments on this element, albeit so important for oil palm. It is probable that the level increases for IA with a maximum in Year 4 (?), while it seems to remain equal to F for ID.

The Mg, and even more so Ca levels are obviously higher, as for F they are ± 35 and ± 50 p. 100 respectively of the sum of the cations. It seems that on the whole the changeover to cultivation increases Ca at the expense of Mg in the sum of the cations.

COMPARISON OF MINERAL ELEMENT CYCLES IN THE OIL PALM PLANTATION AND IN THE FOREST.

The transformations in the chemical characteristics of the soils are partly linked to the changes which occur in the mineral element cycles.

The climatic forest which lives in closed circuit is characterized by the constant removal and restitution of the mineral elements in the soil. The return cycle is more rapid for the elements in the litter than for those which form part of the perennial organs of the higher plant forms. On the contrary, the cycle is more complicated in a palm grove and the mineral elements follow three different circuits :

— one part is returned to the soil at the end of a short cycle in the dead leaves, decayed male inflorescences and dead roots;

— another part is immobilized in the trunks for 20-25 years;

— the last part is exported by bunch production, but these removals are often compensated by fertilizers or even by the K_2O -rich ashes from burnt bunch waste which can be spread in the plantation.

Several authors have studied the mineral element cycles. F. Bernhard-Reversat [4] has estimated the quantities restored

every year by the litter alone in the Forest of Banco in the Ivory Coast, whilst Ng Siew Kee, amongst others [5], has determined the relative share of each of the three circuits mentioned above in Malaysian palm plantations. As the slightly different results provided by other sources prove, such appraisals are difficult to make since they depend on the ecology and should be considered as rough estimates.

Table VII summarizes both authors' work (for the oil palm plantations, the cover in the interlines does not enter into the balances), the exports calculated by Ng Siew Kee for a yield of 25 t of bunches being brought down to the 17 t obtained at La Me. The restitutions and immobilizations may also be a little lower at La Me, where the inter-origin material is less developed than the Deli in Malaysia.

The figures in Table VII show that the most important elements for the oil palm are nitrogen and potassium, followed by magnesium, calcium and finally phosphorus, which is taken up in very small quantities. However, even for nitrogen and potassium the exports are less than one third of total uptake (one quarter on an average), whereas nearly half the latter is soon returned to the soil (the life span of a leaf is only 40 months) and the rest, which cannot be considered as definitely lost, is immobilized in the trunks during the lifetime of the palm grove. The only large, irrevocable exports concern nitrogen and potassium. While nitrogen is not replaced by fertilizers, at least in the Ivory Coast, potassium is restored annually, mostly in the form of KCl at the rate of 150-300 kg fertilizer/ha/year; this provides 80-180 kg potassium, part of which remains fixed in the absorbant complex in the soil, in spite of uptake and leaching losses.

Confronting short-cycle restitutions under forest with those under oil palm we see that the latter restores annually a total quantity of elements which compares very honorably with that of forest. The phosphorus requirements of the « green parts » of both plant formations are small, the palm grove

perhaps requires a little more potassium, calcium and magnesium needs seem to be inversed. The forest is probably a much larger consumer of nitrogen than the palm grove.

CONCLUSIONS

It seems, therefore, that under oil palm plantations the soil is in no danger of erosion and that it tends to develop for about ten years towards a new chemical status where the levels are between 60 and 90 p. 100 of those under forest, according to the element. Experiments show that this new soil status is still favourable to oil palm growing after 15-20 years of cultivation. Highly satisfactory yields are obtained today on plots which have been supporting industrial oil palm crops for the past 60 years.

To benefit from the preservative effect of the changeover to agricultural use it is indispensable to manage the environment with the care of a thoughtful father administering the family wealth, and this means :

- keeping to the methods of land preparation described in the introduction, as they preserve the environment sufficiently ;
- eliminating steep slopes or taking steps to avoid erosion (terrace cultivation) ;
- avoiding the frequent coming and going of ill-adapted machines in the interlines during the harvest ;
- avoiding intensive cattle grazing ;
- determining the most suitable mineral fertilization by means of regular checks of the nutrient status of the trees.

These conclusions apply also to industrial coconut growing, for which the techniques are very similar to those used for oil palm.