

SEMINAIRE SUR LA MECANISATION DES EXPLOITATIONS INDIVIDUELLES
DES PAYS CHAUDS

PARIS 28 FEVRIER - 10^{er} MARS 1977

INCIDENCE DE LA MECANISATION SUR QUELQUES PROPRIETES DES SOLS TROPICAUX

J. BOYER

Directeur de Recherches à l'O.R.S.T.O.M.

RESUME

L'emploi de machines agricoles et surtout de la charrue, se révèle l'un des facteurs essentiels de l'intensification des cultures annuelles en milieu tropical. Cet article passe en revue les conséquences de leur utilisation sur quelques caractéristiques des sols.

. Propriétés physiques : le labour, s'il accroît la profondeur utile du sol et donc l'enracinement, peut aussi créer une semelle de labour néfaste à la pénétration des racines; s'il dégrade à long terme stabilité de la structure et porosité, il accroît fortement à court terme la porosité et même l'agrégation.

. Eléments minéraux Ca, K, Mg : l'intensification agricole que permet la mécanisation augmente les pertes de ces éléments, mais dans certains cas peut préserver leur maintien dans le sol.

. Matière organique : la charrue, si elle favorise la minéralisation de l'humus, permet aussi l'enfouissement de matières végétales qui permettent de conserver le stock organique à un niveau convenable.

Des mises au point et des études sont encore nécessaires surtout pour préserver à long terme les propriétés du sol favorables à la réussite des cultures.

O. R. S. T. O. M. 23 SEP. 1977

Collection de Référence.

43
M n° 87 93 Peds
ex 1

INTRODUCTION

Depuis que l'agriculture existe, les nécessités dues à la stabilisation des populations et à la pression démographique ont toujours conduit à rechercher une intensification des cultures par accroissement de la productivité du sol, des plantes et si possible du travail de l'homme.

En ce qui concerne l'agriculture tropicale, si l'apparition des techniques de la riziculture inondée remonte à une époque lointaine, on peut noter très près de nous l'immense succès que constitue la réussite des agronomes européens qui sont parvenus à maintenir quasi-indéfiniment sur un même sol des plantations à haut rendement d'hévéas, palmiers à huile, caféiers, cacaoyers, aleurites, etc...

Un troisième défi est actuellement posé à l'agriculteur des Tropiques, en ce qui concerne les cultures annuelles : celui du passage de l'agriculture itinérante à caractère extensif à une agriculture intensive permettant d'accroître la productivité de l'homme et du sol. Pour diverses raisons, il semble que ce défi ne puisse être relevé qu'avec, entre autres, l'utilisation d'une certaine dose de mécanisation.

Les conséquences de l'emploi de machines agricoles sur les propriétés du sol ne sont pas, par essence, très différentes de celles que peuvent avoir les outils manuels. Elles s'en séparent par une série de facteurs :

- la puissance mise en jeu, très supérieure à celle de l'homme, qu'il s'agisse de traction animale ou de traction inanimée,
- la préparation plus poussée des aires cultivées, en particulier par la nécessité du dessouchage préalable,
- l'obligation, pour rentabiliser l'opération coûteuse du dessouchage, de cultiver de nombreuses années le même sol,
- le désir d'obtenir sur ce sol un volume de récolte tel qu'il valorise de façon satisfaisante le travail du paysan et la mise de fonds que représente l'achat ou la location du matériel.

Ce sera le but de cet exposé d'essayer de faire le point des connaissances actuelles de l'action des machines agricoles, essentiellement de la charrue, sur les propriétés des sols. Nous retiendrons, comme têtes de chapitre :

- les caractéristiques physiques : différenciation des horizons, structure, porosité,

- les caractéristiques chimiques, en particulier les bases échangeables, le pH, et les propriétés qui en découlent,
- les caractéristiques organiques, matière organique et azote.

1 - LA CULTURE MECANISEE ET LES PROPRIETES PHYSIQUES DES SOLS

1 - 1) LA COMPACTITE DE L'HORIZON PROFOND

Beaucoup de sols de la zone inter-tropicale présentent au-dessous de l'horizon humifère meuble (épaisseur 10 à 30 cm en général) un horizon plus compact.

Ce pourra être, en zone sèche, dans certains sols ferrugineux tropicaux, un horizon massif où eau et racines pénètrent mal et où l'hydromorphie est fréquente.

En sols ferrallitiques (zones humide et sub-humide), il existe de façon très générale entre 10 et 70 cm de profondeur un horizon d'épaisseur variable grossièrement structuré où les racines des plantes s'installent plus difficilement qu'en surface (FRANKART et CROEGAERT 1959 au ZAÏRE - BOURGEAT et AUBERT 1973 à MADAGASCAR - FAUCK 1973 pour le TOGO et le SENEGAL - VOLKOFF 1975 dans l'Etat de BAHIA au BRESIL; de BLIC 1975 en moyenne COTE D'IVOIRE).

Les caractères de compacité de cet horizon, appelé parfois horizon de comportement ou de consistance, sont souvent peu accusés en sol vierge; circonstance aggravante ils sont, dans presque tous les cas, si peu apparents qu'ils passent la plupart du temps inaperçus lors des prospections pédologiques.

En CASAMANCE, où il est présent entre 10 et 20 cm, il forme à 10 cm de profondeur un obstacle presque absolu à la pénétration des racines du riz pluvial en culture manuelle; par contre, un labour à 20 cm le brise complètement et permet aux racines du riz non seulement d'explorer la couche travaillée mais de pénétrer dans l'horizon sous-jacent jusque vers 40 cm de profondeur (HADDAD et SEGUY 1972). La charrue se révèle donc comme un outil particulièrement efficace et précieux dans ce cas précis.

Par contre, son action est beaucoup plus discutable lorsque la profondeur atteinte par les instruments aratoires correspond au sommet de cet horizon compact ou tout simplement à une discontinuité pédologique pré-existante; la charrue provoque alors la formation d'une semelle de labour exactement au niveau que déjà les racines des plantes avaient quelques difficultés à franchir.

C'est ce qui fut remarqué assez souvent en moyenne COTE D'IVOIRE, où un à trois ans de façons culturales mécanisées ont conduit à un enracinement strictement limité à la zone travaillée sans aucune pénétration racinaire dans les couches sous-jacentes du sol (de BLIC 1975).

Il existe un remède, d'ailleurs d'une efficacité reconnue; c'est le défoncement du sol jusque vers 40 ou 50 cm; mais tous les agriculteurs en connaissent les difficultés, en particulier l'obligation

de mettre en oeuvre une puissance considérable et le danger de faire apparaître en surface une trop grande proportion de terre stérile.

On peut y ajouter la "casse" du matériel qui revêt bien souvent l'ampleur d'une catastrophe dans ces pays où les réparateurs qualifiés sont rares ou inexistantes.

1 - 2) LA STRUCTURE

Immédiatement après défrichement des sols de moyenne COTE D'IVOIRE, le brassage par labours des deux horizons superficiels, le premier meuble, le second à structure plus grossière, ne conduit pas dans l'immédiat à une homogénéisation et un ameubissement satisfaisant de la couche travaillée. L'examen du profil cultural montre que, même après trois ans de culture, il subsiste dans le sol des "morceaux" relativement compacts du second horizon au milieu d'un matériau plus meuble; ce phénomène est d'ailleurs plus accentué sur défriche forestière que sur défriche de savane (de BLIC 1975). Une telle hétérogénéité structurale ne facilite évidemment pas une répartition harmonieuse des racines.

Au bout d'un certain nombre d'années, on devrait arriver à rendre homogène la couche travaillée, mais on ne connaît pas, ou mal, le laps de temps nécessaire, probablement assez variable suivant les sols.

Mais il existe aussi une conséquence du travail mécanique sur la structure, que MOREL et QUANTIN (1972) ont mis en évidence dans les sols cultivés depuis longtemps à la station de GRIMARI (E.C.A.) grâce à l'indice Is d'instabilité structurale (HENIN et MONNIER 1958). Ils ont établi une échelle des variations de Is en fonction de la durée des cultures.

VARIATION DE Is EN FONCTION DU TEMPS DE CULTURE d'après MOREL et QUANTIN (1972)

| Durée de la culture. | Is | Appréciation de la structure |
|-------------------------------------|-----------|--|
| Savane à imperata (témoin-temps 0) | 0,3 à 0,4 | Excellente |
| Après un an de culture | 0,6 | (Bonne structure convenant parfaitement aux cultures |
| Après deux ans de culture | 0,8 | |
| Après trois à quatre ans de culture | 1,0 | Apparition d'inconvénients: glaçage superficiel, diminution de la porosité et de la perméabilité |
| Après huit ans de culture | 1,7 à 1,8 | Culture encore possible, mais les inconvénients précédents s'accroissent |
| Après neuf ans de culture | 1,9 à 2,1 | Les graminées spontanées de la jachère ne se réinstallent plus ou mal. |

Cette péjoration à long terme des caractéristiques structurales devrait logiquement conduire à l'impossibilité, vers la huitième ou neuvième année, de faire croître les plantes surtout au stade plantules. En fait, il faut corriger ce phénomène par un autre, qui se produit au début de chaque cycle cultural, lorsqu'on réintroduit la charrue dans le champs. Il se produit alors un ameublissement qui entraîne une amélioration considérable de la porosité et aussi, mais dans une moindre mesure, de la structure.

Le sol se tasse ensuite à nouveau, mais la durée de l'amélioration est suffisante pour permettre un enracinement satisfaisant des plantes qui s'accommodent ensuite d'un sol en moins bonne condition physique.

Par contre, on en sait pas encore combien de temps le labour pourra relever de façon suffisante, bien qu'épisodique, les propriétés structurales du sol.

Si l'amélioration de la porosité par l'action de la charrue permet une augmentation de l'eau utile, son emmagasinement peut dépendre de la qualité du travail effectué; HADDAD et SEGUY (1972) ont montré en CASAMANCE qu'un labour dressé permettait une bien meilleure pénétration de l'eau de pluie qu'un labour à plat.

1 - 3) PROPRIETES PHYSIQUES DES HORIZONS PROFONDS

Une troisième conséquence de la culture mécanisée sur les caractéristiques physiques des sols est encore plus mal connue : c'est l'action sur les couches profondes du sol bien au delà de la semelle de labour. On a remarqué dans le CAMPO CERRADO brésilien (MOURA in VAN WAMBEKE 1974) que 15 ans de culture provoquent une diminution de la macroporosité, donc de l'eau utile, de 50% entre 0 et 25 cm (couche travaillée), de 10 à 20% entre 25 et 60 cm, de 30 à 50% de 60 à 90 cm. Des faits similaires furent observés au SENEGAL par CHARREAU et NICOU (1971) et CHAUVEL (1972) et ces auteurs pensent non seulement à une répercussion en profondeur de l'effet cinétique des pluies précédemment amorti par la végétation naturelle mais aussi à une modification des conditions de pédogénèse qui retentirait sur la porosité et la compacité jusque dans les horizons profonds.

Pour l'instant on ne connaît que peu de choses à propos de ce phénomène.

2 - LES ELEMENTS CHIMIQUES ET LE pH

2 - 1) MOBILITE DU CALCIUM, MAGNESIUM et POTASSIUM DANS LES SOLS TROPICAUX

Si le phosphore est fortement retenu dans la plupart des sols tropicaux, il n'en est pas de même des éléments échangeables alcalins et alcalino-terreux (Ca, Mg, K).

ROOSE (1970) a trouvé que les horizons supérieurs d'un sol de forêt en moyenne COTE D'IVOIRE perdaient par an 156 kg/ha de CaO, 142 kg/ha de MgO et 314 kg/ha de K₂O, pertes dues au drainage. Sous végétation naturelle on aboutit malgré tout à une sorte d'équilibre grâce surtout à la remontée de ces éléments par les racines et leur dépôt en surface

par les débris végétaux et sans doute aussi, dans une moindre mesure, grâce à la transformation lente des réserves en éléments échangeables. Calcium, magnésium et potassium sont donc assez mal retenus par le sol et il n'y aura rien d'étonnant à ce que défrichement et culture accentuent cette mobilité et ce d'autant plus que la terre est plus intensément et plus longuement travaillée.

2 - 2) EVOLUTION DE LA TENEUR EN BASES ECHANGEABLES SOUS CULTURES

Effectivement, lors des cultures successives, on assiste à une diminution progressive du calcium, du magnésium et du potassium échangeables. En effet, d'une part le sol reste nu ou mal couvert un certain temps, ce qui accroît les quantités d'eau drainées à travers le profil et d'autre part, une certaine quantité d'éléments minéraux est exportée par les récoltes. Au bout de 15 ans de culture mécanisée en CASAMANCE, on a noté une diminution de 50 à 60% des bases échangeables, le calcium étant le plus affecté (60 à 70%) (CHARREAU et FAUCK 1969) ; en culture manuelle traditionnelle, avec une certaine dose de jachère, on n'atteint ces pourcentages qu'au bout de 80 ans dans la même région.

En fait, le phénomène semble se produire en deux temps, ainsi l'a constaté BOUCHY (1973) à BOUAKE, en COTE D'IVOIRE, en culture alternée maïs coton : la première année il y a chute brutale du niveau des éléments échangeables, près de 50%, qui suit d'assez près la baisse du niveau organique (40%) et pendant les huit années suivantes, une sorte de stabilité à tendance décroissante

Sans doute à ce second stade, suffit-il de peu de choses pour maintenir les niveaux calcique et magnésien (le potassium étant mis un peu à part, car il "s'épuise" relativement vite dans les sols sous cultures annuelles (BOYER 1972 et 1973) et des apports d'engrais sont habituellement nécessaires).

C'est ainsi que LE BUANEC (1973) ne trouve pas de différences significatives pour la somme des bases échangeables après 10 ans de culture mécanisée avec des rotations incluant igname, arachide, maïs, coton, riz et stylosanthès à condition qu'il y ait restitution au sol de tous les résidus de récolte; et cet agronome insiste sur la place prépondérante que devraient tenir dans les successions culturales les céréales, fournisseurs d'une quantité importante de pailles qu'il recommande d'enfouir.

Un tel optimisme contraste évidemment avec les baisses spectaculaires de fertilité décrites par beaucoup d'auteurs dès qu'il y a cultures sarclées successives. Mais les expériences de LE BUANEC ouvrent des perspectives intéressantes tout en posant le problème des importants moyens à mettre en oeuvre tant pour la traction que pour le matériel lors de l'opération d'enfouissement.

2 - 3) CONSEQUENCES DE LA DIMINUTION DU TAUX DES BASES ECHANGEABLES : LES EQUILIBRES MINERAUX et le pH

Si les plantes cultivées sont très sensibles aux diminutions du potassium échangeable, elles sont par contre relativement indifférentes à la baisse des niveaux calcique et magnésien du sol : si l'on excepte

l'arachide qui voit ses rendements baisser fortement lorsque le calcium descend au-dessus de 1 milliéquivalent pour 100 gr de sol, la plupart des espèces végétales mises en culture supportent fort bien de très faibles teneurs en calcium (ceci fut démontré avec des cultures sur solution nutritive); elles ne réagissent vraiment qu'à un déficit en magnésium échangeable du sol par trop accentué (au-dessus de 0,25-0,30 me/100 g, ce qui est fort peu).

Par contre, calcium surtout et magnésium conditionnent un certain nombre de propriétés des sols, elles-mêmes déterminantes pour la réussite des cultures : on parlera ici surtout des équilibres entre éléments échangeables et du pH.

Dans l'équilibre subtil qui règle l'assimilation des bases (Ca, Mg, K) en proportions convenables pour les plantes, le calcium apparaît comme le régulateur indispensable de la nutrition magnésienne (la réciproque est aussi vraie), tandis que le magnésium conditionne l'absorption du potassium et inversement.

En cas de déficit calcique accentué, il peut y avoir absorption exagérée de magnésium, et lorsque le magnésium est déficient dans un sol normalement pourvu en potasse, la plante se gorge de potassium au point qu'elle s'empoisonne au sens propre du terme. Ce phénomène n'est pas particulièrement dû aux techniques de mécanisation de l'agriculture, mais celles-ci peuvent en accélérer l'apparition si elles sont mal employées; et les conséquences en sont redoutables dans une économie alors basée sur le rendement et non plus sur la simple subsistance.

Il existe un autre phénomène plus connu qui résulte également de la diminution du calcium et du magnésium dans les terres cultivées, c'est la baisse du pH, ou, en d'autres termes, l'acidification du sol. Ainsi on a constaté en CASAMANCE (sud du SENEGAL) que le pH originellement de 6,40 sous forêt, passait à 5,60-5,70 après 6 ans de culture mécanisée et était entre 5,1 et 4,7 après 15 ans (CHARREAU et FAUCK 1969). Pour cette dernière valeur, on peut craindre l'apparition d'un certain nombre d'inconvénients graves, non parce que les plantes sont physiologiquement très sensibles aux bas pH, sauf exception, mais elles le sont beaucoup aux modifications des propriétés du sol induites par des pH trop faibles.

Tout d'abord, les processus d'ammonification et surtout de nitrification sont très ralentis dès que la réaction du sol atteint 5 et passe au-dessous de ce chiffre, phénomène évidemment lié à un ralentissement de l'activité microbienne; et tout ceci retentit, bien sûr, sur l'alimentation azotée : ainsi une plante aussi indifférente à l'acidité que le manioc, qui, au TOGO, donne 30 tonnes de racines à l'hectare à pH 6 et seulement 5 tonnes à pH 5,1 (DABIN 1950).

Mais il y a plus grave, si l'on considère les modifications d'assimilabilité en fonction du pH de certains éléments comme le molybdène, le manganèse et l'aluminium échangeable. Le molybdène devient de moins en moins assimilable avec l'abaissement du pH d'où en particulier des difficultés d'infestation de l'arachide par son rhizobium, lequel est très friand de molybdène. Lorsque le pH s'abaisse, le manganèse passe d'une forme quadrivalente (MnO_2) peu soluble à une forme divalente MnO hautement soluble qui peut devenir rapidement toxique : c'est pour cette raison que le cotonnier, s'il vit normalement

à pH 5,5 dans la vallée du NIARI meurt à pH 5 et que l'arachide, bien que plus résistante, ne donne plus à pH 4,6 que des rendements insignifiants (FRANQUIN 1958).

Autre type de toxicité, celle qui est due à l'aluminium qui existe normalement sous forme d'oxyde mais qui à pH 5 et au-dessous, devient assimilable en tant qu'aluminium échangeable : par exemple PIERI (1974) impute à ce type d'aluminium la maladie du nanisme jaune de l'arachide au SENEGAL.

Ce problème de l'aluminium échangeable, peu étudié en AFRIQUE francophone, revêt une importance capitale en AFRIQUE orientale, à MADAGASCAR, en AMERIQUE du sud et en EXTREME-ORIENT.

3 - LA MATIERE ORGANIQUE

3 - 1) PRINCIPALES PROPRIETES DE LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL

La matière organique est un constituant essentiel de la partie supérieure des sols et elle en conditionne en grande partie ses propriétés. C'est en premier lieu un facteur indispensable de la structure, dont dépendent la stabilité des agrégats, la porosité, la perméabilité, la réserve en eau.

Elle représente l'unique source d'Azote et de Soufre pour les cultures et, par complexation ou adsorption, elle fixe 50% et parfois plus du phosphore et une quantité importante de bases échangeables.

Enfin, la matière organique peut réduire les toxicités dues aux oligo-éléments par insolubilisation du manganèse, du cuivre, du zinc et même de l'aluminium sous forme de complexes organiques.

La mécanisation favorise la destruction accélérée de la matière organique si elle est mal conduite, mais nous verrons que par la puissance des moyens qu'elle met en jeu, elle permet, sinon sa reconstitution intégrale, du moins le maintien du stock organique à un niveau acceptable.

3 - 2) CONSEQUENCES DU DEFRICHEMENT ET DE LA CULTURE SUR LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL

Tout d'abord, l'incinération de l'encombrante végétation naturelle tropicale qu'elle soit herbacée ou forestière, si elle détruit la litière, n'a qu'une assez faible incidence sur le taux des matières organiques humifiées déjà incorporées au sol.

Lors des deux premières années de cultures, on assiste à des baisses du niveau organique de l'ordre de 20 à 30% par an, soit 40 à 50% en deux ans : ces chiffres proviennent d'expériences remarquablement convergentes menées dans des domaines climatiques et floristiques aussi variés que les savanes herbacées du LOGONE au TCHAD (BOUTEYRE et LEPOUTRE 1959), la forêt sèche de CASAMANCE au sud du SENEGAL (FAUCK, MOUREAU et THOMANN 1969), la savane arbustive humide de la moyenne COTE D'IVOIRE (BOUCHY 1973), la forêt dense humide du GHANA (NYE et GREENLAND 1959) et du ZAIRE (LAUDELOUT et VAN BLADEL 1967).

Au cours des années suivantes, on passe à une phase sinon de relative stabilité, du moins de croissance modérée ou lente. Pour NYE (1959) le taux de combustion de la matière organique ne dépasserait pas, à ce stade, 4% et pourrait être simplement de 1 à 2%, (d'après des expériences

réalisées en culture manuelle au GHANA, au NIGERIA et à TRINIDAD). Si les affirmations de NYE sont discutées par un certain nombre d'auteurs, des expériences actuellement menées en COTE D'IVOIRE permettront sans doute d'y voir plus clair d'ici quelques années.

On a remarqué (MEYER 1959, MEYER, HILGER et PEETER 1959) qu'un labour au ZAÏRE provoquait une augmentation de la décomposition de l'humus avec forte libération d'azote pendant quelques jours s'il était effectué à la charrue à disques, tandis que la minéralisation de la matière organique restait à peu près à son niveau normal si la même opération était faite par une charrue à versoir.

Les constatations de MEYER ne sont peut-être pas généralisables dans l'état actuel de nos connaissances, mais elles ont le mérite d'attirer l'attention sur l'importance des modalités du labour sur la dynamique de la matière organique et partant sur celle de l'azote.

3 - 3) LE MAINTIEN DU NIVEAU ORGANIQUE

Il apparaît illusoire dans les sols cultivés, de vouloir maintenir ou restaurer le niveau organique tel qu'il existait sous végétation naturelle : on ne peut obtenir ce résultat que par de longues jachères (de l'ordre d'une dizaine d'années pour 2 à 3 ans de culture), procédé incompatible avec une mécanisation même rudimentaire.

Par contre, il semble à peu près possible, lors de la deuxième phase, celle de la décroissance modérée ou faible, de conserver le taux d'humus du sol à des teneurs compatibles avec une réussite normale des cultures.

On obtient bien souvent ce résultat par une jachère herbacée ou une prairie pâturée ou non (à condition que la pâture ne se traduise pas par une surcharge en bétail) : MOREL et QUANTIN (1972) ont trouvé dans les sols de GRIMARI (EMPIRE CENTRAFRICAÏN) qu'une bonne jachère à graminées de 3 ans rétablissait un niveau organique suffisant pour que le sol retrouve des propriétés structurales relativement proches de celles du sol vierge; STEPHENS (1969) constate en OUGANDA que la remise en culture d'une prairie pâturée donne des rendements souvent supérieurs à ceux obtenus sur défriches de savane.

Il semble, d'ailleurs, que les graminées jouent un rôle essentiel dans ce maintien du stock organique, au contraire des légumineuses dont l'action serait faible au moins si l'on en croit les résultats de MOREL et QUANTIN (1972), à GRIMARI en E.C.A.; mais une expérience de JAYEBO et MOORE à IBADAN (NIGERIA) semble contredire cette conclusion.

Quoi qu'il en soit, la qualité des végétaux influe beaucoup sur la formation et la permanence de l'humus; alors que les matières vertes ont une action passagère (bien que non négligeable par les cultures) sans effet durable sur la formation de l'humus car leur coefficient d'humification est voisin de zéro, les herbes durées et sèches des graminées spontanées, les pailles des céréales et leurs racines s'humifient à 15% (MONNIER 1965). C'est certainement pour cette raison que LE BUANEC préconise d'introduire dans les rotations culturales de moyenne COTE D'IVOIRE une importante proportion de céréales, riz pluvial et maïs.

CONCLUSION

Dans cette revue succincte des incidences de la mécanisation sur les propriétés des sols tropicaux, on a intentionnellement passé sous silence des phénomènes bien connus comme l'érosion ou l'action des engrais verts (dont l'enfouissement requiert impérativement la charrue) qui l'un et l'autre auraient nécessité des exposés de même ampleur que celui-ci

Peut-être aussi a-t-on fait une place trop large aux soucis et préoccupations du spécialiste de la science du sol, toujours soucieux de préserver le capital sol.

Peut-être eût-il fallu aussi citer largement les remarquables augmentations des rendements des cultures en zone semi-aride, obtenus pendant les trois dernières décennies, augmentations auxquelles l'emploi de la charrue a largement contribué.

Quoi qu'il en soit, la mécanisation est certainement un facteur indispensable à l'intensification des cultures, parmi d'autres. Il semble bien, jusqu'à présent, que l'introduction des techniques mécanisées et en particulier du labour, ait été l'un de ceux qui ont permis de régulariser et d'augmenter, parfois de façon très spectaculaire, les rendements dans la zone inter-tropicale. Il reste maintenant à consolider ce succès en assurant sa pérennité dans le temps. Les divers sujets exposés ci-dessus permettent de se rendre compte que si le résultat final est en vue, il reste encore un certain nombre d'études et de mises au point à réaliser, qui, en définitive, conditionnent le succès ou l'échec. La machine, comme la langue d'ESOPE, peut conduire le sol au meilleur ou au pire, suivant la façon dont on en use.

BIBLIOGRAPHIE

- BLIC (Ph. de) - 1975 - Comportement des sols après mise en culture mécanisée (région centre COTE D'IVOIRE) - O.R.S.T.O.M. - ADIOPODOUME (COTE D'IVOIRE) Doc. ronéo 45 p.
- BOUCHY (C.) - 1970 - Contribution à l'étude des déficiences minérales en culture cotonnière en COTE D'IVOIRE - Coton et fibres tropicales (PARIS) - 1970, 25, 2, 235-251
- BOURGEAT (F.), AUBERT (G.) - 1971 - Les sols ferrallitiques à MADAGASCAR, O.R.S.T.O.M. - centre de TANANARIVE 1971, 31 p. multigr.
- BOUTEYRE (G.), LEPOUTRE (B.) - 1959 - Premiers résultats sur l'étude de l'évolution des sols jeunes sur argiles récentes et argiles à nodules calcaires du LOGONE - Troisième conférence inter-africaine des sols -DALABA 1959, vol. II, 899-907
- BOYER (J.) - 1972 - Soil Potassium
Soils of the humid tropics - pp. 102-135 - National Academy of Science publ. (Washington)
- BOYER (J.) - 1973 - Comportement du potassium dans les sols tropicaux cultivés
10ème coll. Inst. Inter. Potasse - ABIDJAN, 3-7 déc. 1973, p. 83-102
- CHARREAU (C.), FAUCK (R.) - 1970 - Mise au point de l'utilisation agricole des sols de la région de SEFA (CASAMANCE)
Agron. Trop. XXV, 2, 151-191
- CHARREAU (C.), NICOU (R.) - 1971 - Amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest africaine et ses incidences agronomiques
I.R.A.T. Bull. Agro. N° 23 - 254 p.
- CHAUVEL (A.) - 1972 - Observations micromorphologiques de la partie supérieure des sols rouges ferrallitiques de CASAMANCE (SENEGAL)
Cahiers O.R.S.T.O.M. - Sér. Pédo. 1972, X, 4, 343-356
- CHAUVEL (A), FAUCK (R.) - 1969 - Sur la mise en évidence et la caractérisation d'un horizon B dit de "comportement" dans les sols rouges de CASAMANCE
C.R. Acad. Sci. PARIS, 1969, T 269, 2080-2093
- FAUCK (R.) - 1973 - Contribution à l'étude des sols des régions tropicales : les sols rouges sur sables et sur grès d'AFRIQUE occidentale
Mémoires O.R.S.T.O.M. (PARIS), 1973, 259 p.
- FAUCK (R.), MOUREAUX (C.), THOMANN (CH.) - 1969 - Bilan de l'évolution des sols de SEFA (CASAMANCE - SENEGAL) après 15 années de culture continue
Agron. trop. 1969, 3, 263-301
- FRANKART (H.), CROEGAERT (J) - 1959 - Contribution à l'étude de la nutrition minérale du caféier robusta en UELE
Publ. INEAC - Série scientifique, 1959, N° 80, 107 p.

- FRANQUIN (P.) - 1958 - L'estimation en manganèse du sol en rapport avec le phénomène de toxicité.
Coton Fibres Tropicales, XIII, 3, 1-16
- HENIN (S.), MONNIER (G.) - 1958 - Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols
Ann. Agro. 1958, 1, 71-90
- HADDAD (G.), SEGUY (L.) - 1972 - Le riz pluvial dans le SENEGAL méridional. Bilan de quatre années d'expérimentation 1966 - 1969
Agron. Trop. 1972 - 27, 4, 419-461
- JAYEBO (E.O.), MOORE (A.W.) - 1963 - Soil nitrogen accretion under different covers on a tropical rain-forest environment
Nature (LONDRES) 1963, 197, 317-318
- LAUDELOUT (H.), VAN BLADEL (R.) - 1967 - La jachère naturelle en région tropicale humide
Coll. Fert. sols tropicaux - TANANARIVE 19-25 nov. 1967, Vol 2 1490-1497
- LE BUANEC (B.) - 1972 - Dix ans de culture motorisée sur un bassin versant de centre COTE D'IVOIRE
Agron. Trop. 1972, 27, 11, 1191-1211
- MEYER (J.A.) - 1959 - Fluctuations de l'azote minéral dans les sols sous cultures vivrières
IIIème conférence inter-africaine des sols DALABA, 1959, Vol I, 517-529
- MOREL (R.), QUANTIN (P.) - 1972 - Observations sur l'évolution à long terme de la fertilité des sols cultivés à GRIMARI (REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE)
Agron. Trop. 1972, 27, 6-7, 667-739
- MEYER (J.), HILGER (F.), PEETER (A.) - 1959 - Mesure du dégagement de CO₂ par le sol en champs
3ème conférence inter-africaine des sols DALABA - 1959
- NYE (Ph.) - 1959 - The level of humus under the system of shifting cultivation
Third Inter-African Soils Conference (DALABA, 1959 - Vol 1, 525-529
- NYE (Ph.), GREENLAND (D.J.) - 1960 - The soil under shifting cultivation
Commonwealth Bureau of soils - Tech. Comm. N° 51, 156 p.
- PIERI (C.) - 1974 - Premiers résultats expérimentaux sur la sensibilité de l'arachide à la toxicité aluminique
Agron. Trop. 1974, 29, 6-7, 685-696
- ROOSE (E.J.) - 1970 - Importance relative de l'érosion, du drainage oblique et vertical dans la pédogénèse actuelle d'un sol ferrallitique
Cahiers O.R.S.T.O.M., Sér. Péd. VIII, 4, 469-482

STEPHENS (D.) - 1969 - The effects of fertilizers, manure and trace elements in continuous cropping rotations in southern and western UGANDA

East Afric. Agric. and For. J., 1969, 34, 4, 401-417

VAN WAMBEKE (A.) - 1974 - Management properties of ferralsols
F.A.O. Soils Bulletin n° 23, 129 p.

VOLKOFF (B.) - 1975 - Caracterização dos horizontes de alguns solos ferralíticos do estado da BAHIA através do seu índice de instabilidade estrutural
Anais XV Congr. brasileiro ciencia do solo - 1975, 373-380