

L'EXPERIENCE DE L'ORSTOM DANS LE DOMAINE
DE LA FERTILITE ET DE L'EXPLOITATION DES SOLS TROPICAUX

Document préparatoire au rapport CIRAD-ORSTOM

thème : Fertilité des sols et fertilisation des
cultures tropicales

pour le Séminaire sur la Recherche Agronomique
Française en Zone Intertropicale

Banque Mondiale - Washington, 15-16 mai 1986

ORSTOM Bondy

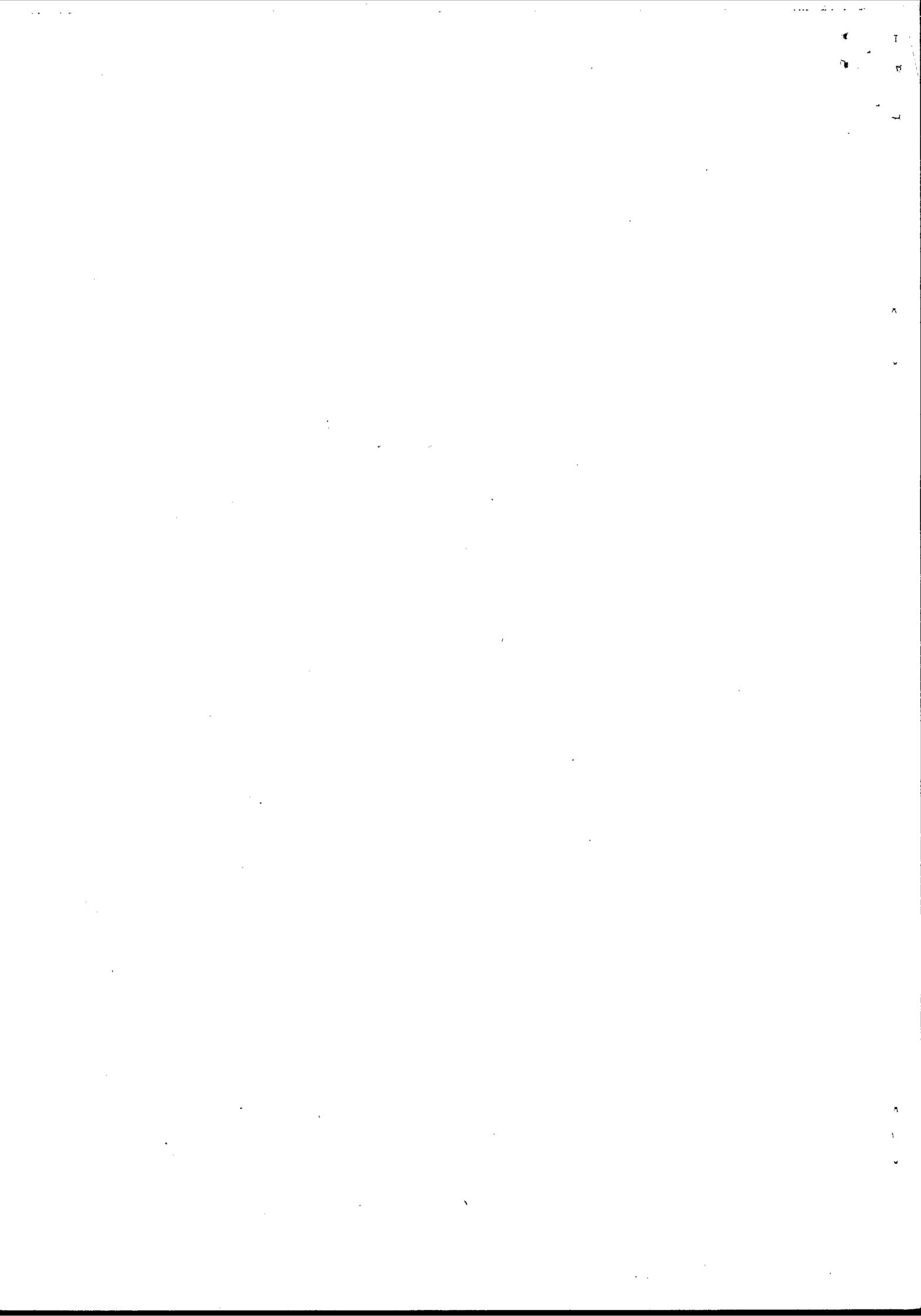
Roland MOREAU

1986

O.K.S.I.O.M. Fonds documentaire

N° : 29051, ex 1

Cote : B



I - LES ACQUIS

Diagnostic de terrain

Dès l'après-guerre, d'importants travaux d'inventaire, d'analyse et de représentation cartographique de l'environnement ont été développés de façon souvent systématique, sur de vastes territoires de la zone intertropicale. Ces études, qui intéressent des domaines scientifiques variés : géographie, géologie, bioclimatologie, botanique, pédologie..., ont permis d'améliorer progressivement la connaissance des milieux tropicaux, de leur potentialités et de leurs contraintes, préalable indispensable à toute politique sérieuse d'aménagement et de mise en valeur dans ces régions.

S'agissant de mise en valeur agricole, les travaux d'inventaire et de caractérisation des sols fournissent les données de base essentielles pour l'évaluation des ressources en terres cultivables d'un pays ou d'une région ; les cartes établies offrant des possibilités de zonage thématique variées. La composante bioclimatique se trouve également prise en compte dans les études à petite échelle. Les critères d'évaluation de la qualité des terres, choisis d'après l'observation des relations entre les caractéristiques édaphiques existantes et le développement des plantes, se sont affinés à mesure que des références agronomiques plus précises étaient obtenues en milieu contrôlé. Dans le même temps, les progrès sur la connaissance des constituants et des caractères spécifiques des principaux types de sols tropicaux permettaient de mieux comprendre les propriétés agronomiques s'attachant à chacun d'eux. Les possibilités d'extrapolation spatiale se trouvaient également accrues du fait de l'amélioration des connaissances sur les autres composantes de l'environnement.

Actuellement, l'expérience acquise permet de disposer de critères d'évaluation relativement satisfaisants dans beaucoup de cas. Cependant, il existe encore des régions où ceux-ci font défaut par manque de références agronomiques suffisamment précises.

Selon le niveau d'échelle considéré, deux catégories de travaux cartographiques et d'études sur le milieu sont à distinguer :

- Aux échelles moyennes et petites (1/50 000 à 1/1 000 000) ce sont des travaux d'étude générale et d'inventaire, mais où la description des sols s'est le plus souvent accompagnée de considérations sur les possibilités d'utilisation, d'après l'état des connaissances du moment et les observations réalisées sur le terrain prospecté. Des documents cartographiques existent pour plus de 15 pays (partiellement ou totalement couverts), principalement mais non

exclusivement en Afrique. Dans plusieurs cas, dérivant de ces travaux, des informations complémentaires sur les potentialités culturelles font l'objet de documents particuliers (cartes et tableaux) avec ou sans notice explicative ; exemple : Burkina Faso (1/500 000), Cameroun (1/200 000), Gabon (1/200 000), Maroc (1/100 000), Tunisie (1/50 000 et 1/200 000), Togo (1/500 000)...

- Aux grandes échelles, il s'agit de travaux réalisés pour des objectifs de mise en valeur, avec des conditions bien définies (type de culture, modalités d'exploitation : mécanisation, irrigation...), entraînant des exigences précises pour la qualité des sols. On aboutit généralement à des documents de types normatif : classes d'aptitudes ou de limitations répondant à des degrés différents aux exigences exprimées, d'après l'évaluation d'une série de paramètres (facteurs de déclassement) tels que : topographie, profondeur du sol, pierrosité, texture, structure et propriétés physiques, drainage, pH et complexe adsorbant, alcalisation, salinité, calcaire, matière organique et azote, phosphore, potassium... Ces travaux cartographiques seuls ou associés à des études ponctuelles ont eu des objectifs variés :

+ installation de paysannats, défrichement, front pionnier : arachide au Sénégal, cotonnier au Cameroun, ...

+ grande hydraulique et mise en valeur régionale : Zebra, Moulouya, Doukkata, Haouz au Maroc (1959-1965, 1970-1973), Medjerdha en Tunisie (1950-1960), Sénégal (1957-1981), Logone (1948), delta central du Niger au Mali (1948 - 1951 - 1954), région de Banfora au Burkina (1967), Benoué au Cameroun (1976)...

+ petite hydraulique : campagne 1960-1964 pour des barrages en terre au Sahel (Mauritanie, Burkina Faso, Niger), cartes des sols irrigables du Maghreb, du Sahel, de la côte d'Afrique Occidentale,...

+ travaux associés à des projets de conservation des sols, par exemple dans les aires d'agriculture montagnarde (Maghreb, Cameroun, Equateur...) à des constitutions de réserve...

Fertilité et expérimentations

Faisant suite à la caractérisation du milieu et à l'identification des défauts et insuffisances éventuelles, la recherche de mesures correctives, ou pour le moins de maintien de la fertilité, les mieux adaptées pour l'exploitation agricole a également donné lieu à de nombreux et importants travaux. Ces recherches reposent principalement sur des études en station ou sur parcelles

contrôlées dans des unités d'exploitation bien encadrées ; dans le passé : Casamance au Sénégal, Niari au Congo, pour la culture mécanisée ; delta du Niger au Mali, pour la culture attelée ; actuellement, en Nouvelle Calédonie sur parcelles expérimentales et en serre).

Les relations entre les caractères du sol et la production végétale ont fait l'objet d'études précises, permettant d'établir des seuils critiques pour plusieurs paramètres. Les recherches portant à la fois sur les caractéristiques physiques et chimiques ont été conduites dans de nombreux pays et sur les principaux types de sols tropicaux (sols ferrallitiques, fersiallitiques, hydromorphes, isohumiques, salsodiques, vertisols et plus récemment andosols).

2.1. Caractéristiques physiques

Les principales caractéristiques étudiées dans leurs relations avec le développement des plantes et principalement le développement racinaires sont :

- la différenciation du profil cultural : influence des traits morphologiques, limites d'horizons, présence de gravillons, d'induration... (Aubert et Moulinier, 1954 ; Moulinier, 1962 ; Dabin, 1961 ; de Blic et Leveque, en cours).
- la texture : indication des valeurs optimales pour le Sorgho (Sénégal), l'arachide (Sénégal, Congo), le bananier (Cameroun, Côte d'Ivoire, Guinée), le riz (Mali) (Maynard, 1937 ; Martin, 1959 ; Brugière, 1954 ; Martin et Siffermann, 1966 ; Dabin, 1959 ; Dabin et Leneuf, 1960). Malgré leur plus grande pauvreté chimique, des sols sableux peuvent être préférables pour certaines cultures (arachide) ou dans certaines conditions de contraintes hydriques très sévères (Sahel) : plus grande disponibilité de l'eau pour les plantes.
- la structure pour laquelle les études se sont surtout développées à partir de 1958, avec l'utilisation de l'indice de Henin (Is) permettant l'évaluation quantitative de l'instabilité structurale sur les principaux types de sols tropicaux : surtout en RCA, Congo, Côte d'Ivoire, Mali (Boyer et Combeau, 1960 ; Combeau et Quantin, 1963 ; Combeau et Monnier, 1961 ; Dabin, 1951b, 1960, 1962, 1964b ; Fauck, 1956b ; Leveque, 1982).
- la porosité et la densité des sols : difficulté d'enracinement au-dessous d'un seuil de porosité : 40% en particulier pour l'ananas (Talieu d'après Boyer, 1970). Ces caractéristiques du sol sont fréquemment défavorables, surtout dans les sols ferrugineux.

2.2. Caractéristiques chimiques

Les seuils de déficience minérale ont été établis pour les principaux types de sol (carences absolues). L'importance des équilibres chimiques entre nutriments a été aussi mise en lumière (carences relatives). Les valeurs critiques des principaux rapports minéraux ont été précisées et des échelles de fertilité ont été également proposées.

L'azote

C'est la carence principale dans la plupart des sols. Les rendements sont en relation linéaire avec N total pour des valeurs inférieures à 1 pour 1000, dans la plupart des cas (Dabin, 1954a, 1956 ; Charreau, Fauck, 1970), on sait que le pH influence l'activité biologique et ce paramètre conditionne aussi dans une large mesure la disponibilité de l'azote minéral à partir des réserves organiques minéralisables. Une échelle d'appréciation de la fertilité à l'égard de l'azote, en fonction du pH, a été établie pour les sols de l'Afrique Occidentale (Dabin, 1961).

Le Phosphore

Les sols sont fréquemment carencés en phosphore. Les méthodes d'analyse du phosphore assimilables utilisées pour les sols tempérés s'étant révélés inadaptées aux sols tropicaux, la seule approche possible pour l'étude de la fertilisation phosphorique a pendant longtemps reposé sur l'étude du phosphore total. Un rapport d'équilibre N total / P₂₀₅ entre 2 et 4 a été établi puis confirmé pour les principaux types de sol, avec toutefois une modulation de ces valeurs dans certaines conditions : pH < 5.5, grande richesse en azote (Boyer et Dabin, 1963 ; Dabin, 1954, 1956, 1961 ; Dabin et Leneuf, 1960).

A la suite des travaux de Chang et Jackson (1957), une série d'études permettait d'identifier dans les sols tropicaux des formes de phosphore analogues, mais dans des proportions différentes à celles des sols tempérés. Une méthode d'analyse du phosphore assimilable mieux adaptée aux sols tropicaux était mise au point : méthode Olsen-Dabin (Dabin, 1967). En même temps, la relation entre la richesse en sesquioxydes et l'importance du pouvoir fixateur pour le phosphore dans ces sols, était reconnue (Dabin, 1970a, 1971, 1974). Il était également établi que le phosphore lié au fer ne se trouve pratiquement pas disponible pour les plantes à l'exception des sols réducteurs : rizières ; tandis que le phosphore lié à l'alumine l'est davantage, sauf dans le cas des andosols acides et des sols sulfatés acides.

Plus récemment, d'autres types de méthodes : marquage isotopique, résine échangeuse d'anions... ont apporté un éclairage nouveau sur les résultats acquis avec les méthodes chimiques classiques, ces dernières conservant tout leur intérêt en raison d'une plus grande facilité d'emploi pour les analyses de série. Des recherches comparatives portant sur la fiabilité de ces différentes méthodes ont abouti à un classement des sols à l'égard de la fertilisation phosphatée, en fonction des résultats en phosphore obtenus avec les meilleures d'entre elles (travaux Imphos-Gerdats : Roche, Grière, etc.).

Le Potassium

Pour la plupart des plantes, le seuil absolu de carence en potassium existe pour K échangeable $< 0,1 \text{ me}/100 \text{ g}$ de sol (Aubert et Moulinier, 1954 ; Charreau et Fauck, 1970 ; Dabin et Leneuf, 1960). Un seuil relatif : K échangeable $< 2\%$ bases échangeables a également été vérifiée par certains auteurs (Dabin, 1961 ; Martin-Prevel, 1966). Une échelle de modulation du seuil de carence (de 0,05 à 0,4 me/100g) en fonction de la granulométrie du sol (de 10 à 70% d'argile + limon) a été établie pour les caféières de RCA (Forestier, 1964).

Les équilibres Mg/K, Ca/K et Ca+Mg/K ont également fait l'objet d'études et des valeurs limites pour différents types de sols et de cultures sont proposées (Dabin, 1956 ; Forestier, 1964), ainsi qu'une échelle de fertilité potassique applicable pour les sols ferrallitiques et ferrugineux (Dabin et Leneuf, 1960).

Les carences potassiques se manifestent surtout dans les sols sableux, mais elles apparaissent après quelques années de culture dans la plupart des sols. Outre les exportations par les récoltes, cet élément subit également des pertes importantes par lixiviation (Roose, 1981).

pH et bases échangeables

Bien que les plantes tropicales soient relativement tolérantes au pH (4-7.5) des valeurs de pH optimales ont été reconnues pour les principales cultures tropicales (bananier, riz, manioc, coton, canne à sucre, arachide...).

L'incidence du pH sur les rendements peut s'expliquer par :

- l'influence sur l'activité biologique (Dabin, 1954 ; Dommergues, 1953, 1956a)
- le blocage des formes assimilables du phosphore aux bas pH (Dabin, 1963, 1964a, 1968)

- la toxicité Mn et Al aux bas pH (Franquin et Martin, 1962). L'importance du rapport Al.éch./S+Al.éch. a été montrée, avec de grands écarts de sensibilité pour différentes plantes (Kouamé Yao, 1982).

Au Congo, l'emploi de roche calcaire dolomitique broyée, d'origine locale, est très efficace dans les sols du Niari pour remonter le pH et combattre la toxicité Mn (Martin, 1959, 1967). D'autres formes d'amendement, tels que les sédiments marins glauconieux ont également fait l'objet de recherches pour leur utilisation sur les sols littoraux, dans ce même pays (Giresse et Jamet, 1982).

On sait que le chaulage active les processus biologiques (notamment vis-à-vis du cycle de l'azote) (Dommergues, 1956, de Boissezon, 1961 ; Bachelier, 1960, 1963 ; Moureaux et Fauck, 1967), qu'il améliore l'assimilabilité du phosphore, mais qu'il comporte aussi des risques de blocage d'oligo-éléments (Zn, Bo, Cu) et de déséquilibre minéral (surtout par rapport au potassium), s'il est appliqué à trop fortes doses (Dabin et Leneuf, 1960).

Au cours des dernières années des études conduites sur des sols de Nouvelle Calédonie possédant des rapports équilibrés entre bases échangeables et réputés infertiles, montrent qu'il est possible d'obtenir après correction de la fertilité (gypse) des résultats très honorables en maïs (Bonzon et al., 1984). Ce type d'étude se poursuit avec différentes catégories de sols de la région, pour lesquels on ne dispose pratiquement pas de références agronomiques, selon une méthodologie originale associant des recherches sur parcelles expérimentales et des essais en serre bien adaptée à ce genre de situation.

Synthèse

Plusieurs documents de synthèse sur l'état des connaissances dans le domaine de la fertilité et de la fertilisation ont été publiés à différents moments, soit sur un plan général à l'échelle des sols de la zone intertropicale (Aubert, 1960a, 1968 ; Boyer, 1970 ; Dabin, 1961, 1970b, 1984 ; Dabin et Maignien, 1979), d'une région (delta central du Niger : Bouyer et Dabin, 1963 ; Dabin, 1951b - cuvette tchadienne : Dabin, 1969) ou d'une station (Sefa en Casamance : Cointepas, 1960 ; Niari au Congo : Martin, 1972), soit sous des aspects plus particuliers touchant à une catégorie de sols (sols ferrallitiques : Boyer, 1982), à un élément de la fertilisation (calcium et magnésium : Boyer, 1978) ; phosphore : Aubert, 1960b ; Dabin, 1979 ; sulfate d'ammoniaque Dugain, 1959), à un type de culture (coton au Nord Cameroun : Fritz et Vallerie, 1971 ; caféier en RCA : Forestier, 1962 ; cacaoyer : Verlière, 1981 ; riz au Mali : Dabin, 1951 ; Coyaud et al., 1957).

3 - MAITRISE DE LA FERTILITE. EVOLUTION DES SOLS SOUS CULTURES

Une connaissance approfondie du fonctionnement et de la transformation des sols sous l'effet des pratiques culturales et des contraintes d'exploitation en général est indispensable afin d'assurer une meilleure gestion et la maîtrise de la fertilité à court et long termes.

Les premières observations sur l'évolution des sols cultivés ont naturellement accompagné les recherches conduites en station et sur les unités d'exploitation installées après-guerre. Des bilans d'évolution ont été établis plus ou moins régulièrement avec des intervalles de temps comptant généralement plusieurs années : Sefa en Casamance (Fauck, Moureaux, Thomann, 1969), Niari au Congo (Martin, 1967), Grimari en RCA (Cointepas et Makilo, 1982).

Par la suite, des études portant plus précisément sur l'influence des modalités de mise en culture et d'exploitation sur l'état des sols, en insistant souvent sur des aspects plus particuliers : caractéristiques physiques, matière organique... se sont multipliées. Il s'agit généralement d'études comparatives en milieu de production, sur sol exploité et non exploité, conduites soit par enquêtes avec possibilités d'intégrer des durées d'exploitation différentes, soit par études suivies sur couples de parcelles avec des observations rapprochées dans le temps dès le moment du défrichement.

Ces études portent sur des systèmes variés dans différents pays :

- systèmes traditionnels ou mécanisés en cultures variées : au Cameroun (Humbel, 1965), au Congo (Braudeau, 1984), en Côte d'Ivoire (de Blic, 1976 ; Moreau, 1983 ; Collinet et al., 1980), en Guyane (Turenne, 1977), en Haïti (Turenne et al., 1981), au Sénégal (Feller et Milleville, 1977), actuellement en Amazonie Equatorienne (Viennot), en Nouvelle Calédonie (Bonzon, Denis, Thomann).
- cultures industrielles : bananier en Côte d'Ivoire (Dabin et Leneuf, 1964), canne à sucre au Burkina Faso, à l'Ile Maurice dans les Caraïbes (en cours), cotonnier en Côte d'Ivoire (Latham, 1971).
- systèmes sylvicoles : au Congo (Jamet, 1975), en Côte d'Ivoire (Leveque, 1980, 1981), au Sénégal (Bernhart-Reversat, 1984). Actuellement agroforesterie au Congo (Reversat).
- systèmes agropastoraux en région sahélienne (Valentin, 1983).

La comparaison entre les systèmes d'exploitation traditionnels et les systèmes à technologie avancée a permis de préciser l'impact des différentes contraintes d'exploitation liées au défrichement et à l'exploitation des sols, en rapport

avec la modification des équilibres physiques, chimiques, biologiques et de l'organisation des sols (Collinet et al., 1984 ; Moreau, 1984 ; Roose, 1981).

Selon les modalités de défrichement, l'évolution du sol peut être plus ou moins importante et rapide : principalement la dégradation des caractéristiques physiques et organo-biologiques. Les systèmes manuels traditionnels sont beaucoup moins perturbateurs de l'état du sol que les systèmes mécanisés ; dans le cas des sols forestiers acides, la culture sur brûlis peut avoir des effets bénéfiques sur certains aspects du statut minéral (bases échangeables, pH), avec des arrière-effets prolongés dans le temps (Martin, 1982 ; Moreau, 1983).

En agriculture traditionnelle, la jachère naturelle apparaît comme le plus sûr moyen de rétablir les propriétés physiques et chimiques des sols dégradés, à condition d'être maintenue pendant plusieurs années, (Boyer et Combeau, 1960 ; Dabin, 1964). En Côte d'Ivoire, des soles fourragères cultivées (fertilisées et fauchées) améliorent également le stock organique du sol et la stabilité structurale, mais l'effet bénéfique disparaît relativement rapidement à la remise en culture (Picard, 1976 ; Talineau et al., 1976, 1979).

La pratique de l'engrais vert, si elle améliore généralement le rendement des cultures, apparaît moins efficace que la jachère vis-à-vis des caractéristiques fondamentales du sol. Il est avantageux de l'associer aux autres pratiques culturales dont elle peut renforcer l'action, : effet du labour par augmentation de la porosité et de la perméabilité (Combeau et Monnier, 1961), efficacité des amendements et engrais phosphatés solubles (Fauck, 1956a).

Les recherches sur le fonctionnement et l'évolution des sols en relation avec la fertilité touchent à différents aspects thématiques tels que : organisation structurale et propriétés physiques, hydrodynamique en relation avec l'érosion et les bilans de matières, matière organique et cycle des nutriments.

Organisation structurale et propriétés physiques

La structure et sa stabilité comptent parmi les caractéristiques les plus fortement modifiées par la mise en culture, s'accompagnant généralement d'une dégradation des propriétés physiques par rapport à l'état naturel : porosité, densité, perméabilité..., avec des variations brutales de la valeur de ces paramètres dans le profil cultural. Les sols ferrugineux apparaissent les plus fragiles (Fauck, Moureaux et Thomann, 1960) mais les sols ferrallitiques sont également affectés (Boyer et Combeau, 1960 ; de Blic et Moreau, 1979 ; Cointepas et Makilo, 1982). L'irrigation accentue le phénomène (Combeau et Monnier, 1961).

La stabilité structurale se trouve en relation avec le taux de matière organique du sol (Martin, 1963 ; Combeau et Quantin, 1964) qui diminue sous l'effet de la mise en culture. Mais le simple ameublissement du sol accroît aussi la sensibilité des agrégats à l'action de l'eau d'infiltration ; conduisant à une dégradation très rapide de la structure, dans des sols de savane et forestiers de Côte d'Ivoire (Moreau, 1978). Les liaisons fer-argile favorisent l'agrégation (Martin, 1963 ; Chauvel et Monnier, 1967 ; Combeau, 1964). Il a été montré que l'alternance brutale d'humectation et dessiccation consécutive au défrichage, particulièrement dans les zones forestières à climat contrasté, entraînent la rupture des liaisons fer-argile (ultradessiccation), la destruction des agrégats et l'effondrement des structures (Chauvel, 1977).

Les observations micromorphologiques permettent d'étudier la réorganisation des particules en structures particulières dans les sols cultivés (de Blic, 1979 ; Valentin, 1985).

Toutes ces données expliquent la grande difficulté d'améliorer de façon durable la stabilité structurale dans les sols cultivés. On ne peut qu'essayer de la maintenir à un niveau acceptable en renforçant le rôle favorable de certains facteurs : matière organique, activité racinaire, et en limitant au mieux les processus de dégradation : assurer une bonne couverture du sol, limitation du travail du sol...

Le labour agit favorablement sur le rendement, en particulier pour les sols de la zone soudano-sahélienne les plus mal structurés (Dabin, 1969) ; il favorise également l'enracinement des plantes dans les sols dégradés des zones plus humides (ananas en Côte d'Ivoire, par exemple). Du fait de l'augmentation de perméabilité, l'érosion se trouve temporairement réduite par le labour (quelques semaines) mais le phénomène se trouve plutôt accru par la suite ; toutefois, la première période peut être mise à profit pour l'installation d'une culture qui protégera ensuite le sol (Roose, 1981). A condition de respecter certaines règles, le danger relatif à l'érosion résultant d'un labour à la charrue n'apparaît pas plus grand que dans le cas du travail manuel (Verney et Willaime, 1965 ; Dabin, 1954a). Cependant, la mécanisation accentue les risques de dégradation structurale et de compaction dans le profil cultural, pouvant entraîner localement des phénomènes d'asphyxie.

Hydrodynamique superficielle, érosion et lixiviation

L'importance du phénomène d'érosion a très tôt retenu l'attention des chercheurs qui se sont attachés à en évaluer les effets et à en comprendre les causes pour mieux le combattre. En fait, les recherches se sont placées dans le cadre thématique plus général de l'hydrodynamique superficielle (ruissellement et

infiltration) et de ses conséquences sur l'état des sols. Dès les années 50, a commencé l'installation d'un réseau de dispositifs de mesure (cases d'érosion, puis lysimètres, mesure du drainage oblique...) qui s'est étendu aux différentes zones bioclimatiques de l'Afrique de l'Ouest (Dabin et Leneuf, 1958 ; Cointepas, 1956 ; Fournier, 1967 ; Roose, 1967 a et b). Après de longues années d'observations, ces travaux ont fait l'objet de larges synthèses dont on ne peut qu'évoquer succinctement quelques résultats (Roose, 1973, 1977, 1981, 1983).

L'érosivité potentielle du milieu (agressivité des pluies) est de 3 à 60 fois supérieure en Afrique de l'Ouest qu'elle ne l'est en région tempérée. L'érosion reste faible sous végétation naturelle mais peut être multipliée par un coefficient de l'ordre de 1000 à la suite de la mise en culture. L'analyse des données s'appuyant sur l'équation de Wischmeier et Smith (1962) montre que le couvert végétal peut réduire l'érosion de 1 à 0,001, les caractères intrinsèques du sol de 0,3 à 0,01 et les techniques culturales de 0,1 à 25. Il suffit d'annuler l'un des facteurs pour que l'érosion devienne négligeable. Ces coefficients ont été établis pour différents cas de situation (sols, cultures, pratiques culturales...) dans les principales zones bioclimatiques de l'Afrique Occidentale (Roose, 1981).

L'érosion appauvrit le sol préférentiellement en particules fines: support de la fertilité (matière organique, éléments minéraux) ; les pertes en phosphore, autres que les exportations par les cultures, sont essentiellement dues à l'érosion. Les techniques antiérosives biologiques (liées à l'état de la couverture du sol) apparaissent plus efficaces et moins onéreuses que les méthodes mécaniques pour limiter l'érosion, particulièrement en zone humide (Roose, 1981). Différentes possibilités ont été étudiées dans ce domaine.

Depuis quelques années, les techniques de simulation de pluie permettent de multiplier les études comparatives et de préciser les mécanismes de comportement du sol à l'action de l'eau, en relation avec les pratiques culturales (Collinet et Valentin, 1979, 1984 ; Collinet et al., 1984). Associées ou non aux dispositifs d'étude classiques, ces techniques sont maintenant mises en oeuvre également en Amérique latine : Brésil, Mexique, Equateur (de Noni, 1984). Elles sont aussi développées en zone méditerranéenne, en particulier au Maghreb où les chercheurs français ont également travaillé depuis longtemps sur les problèmes d'érosion : aménagement régional et conservation des sols en Algérie, au Maroc, en Tunisie (Aubert et autres : Navikoff, 1964).

Par rapport au milieu naturel, la mise en culture induit un déséquilibre des bilans hydriques et minéraux. En absence de fertilisation, les bilans minéraux apparaissent toujours négatifs (Fauck, Moureaux et Thomann, 1969 ; Charreau et Fauck, 1969 ; Roose, 1981 ; Cointepas et Makilo, 1982). L'eau de drainage dont la quantité peut s'accroître sous culture (diminution de l'ETR, efficacité de la

lutte antiérosive limitant le ruissellement), entraîne les éléments les plus mobiles : N, Ca, Mg, K, Na, Cl, SO₄, avec une tendance à l'acidification d'autant plus rapide que les engrais utilisés ont eux-mêmes une action acidifiante (azote, sulfates, chlorures). Les sols tropicaux (ferrallitiques, ferrugineux) retiennent mal les engrais à l'exception des phosphates (en raison de leur nature minéralogique : kaolinite, oxy-hydroxydes de fer et d'alumine), particulièrement dans des zones humides, où les pertes par lixivation peuvent largement dépasser 50% des apports pour l'azote, le potassium et les amendements Ca et Mg (chaux, dolomie), mais n'excèdent pas 10% pour le phosphore (Roose et Godefroy, 1968 ; Roose, 1981). La fertilisation doit donc être basée sur l'apport de faibles doses d'engrais souvent répétées, adaptées aux conditions des différentes cultures, sans négliger les éléments Ca et Mg afin de s'opposer aux inconvénients de l'acidification à plus ou moins long terme.

Un autre aspect des conséquences du drainage porte sur l'entraînement des particules fines, souvent sous forme colloïdale, qui vont s'accumuler à plus ou moins grande profondeur selon le régime hydrique interne du sol (Roose, 1981). Dans les sols cultivés, ce phénomène peut s'ajouter à l'action mécanique du travail du sol pour accroître l'appauvrissement de l'horizon travaillé et favoriser le développement d'un horizon plus compact au-dessous.

S'agissant du cas plus particulier des milieux confinants et hydromorphes, de nombreuses recherches ont également été conduites sur les sols à accumulation de sels et les sols hydromorphes, surtout dans les zones sahélienne et méditerranéenne (Aubert, 1978 ; Cointepas, 1956 ; FAO-UNESCO, 1973 ; Godefroy, 1964 ; Ruellan, 1964 ; PNUD/UNESCO, 1970 ; Valles et al., 1983). La mise en valeur de ces sols est liée à des pratiques particulières, telles que drainage et irrigation, se rapportant plutôt à l'étude de l'hydrodynamique interne, du régime hydrique et de l'économie de l'eau. Ces thèmes devant être traités dans d'autres documents pour la Banque Mondiale, ne seront pas développés ici.

Matière organique et nutrition minérale (azote)

D'importantes données ont été obtenues sur la connaissance quantitative et qualitative de la matière organique du sol et celle des conditions et facteurs de son évolution en milieu tropical. Plusieurs ouvrages et travaux de synthèse ont été publiés : de Boissezon et al., 1973 ; Dabin, 1980-81, 1982 ; Dommergues, 1970 ; Perraud, 1971 ; Bachelier, 1972, 1973, 1978 ; Mouraret, 1965 ; Rinaudo, 1983.

Sous l'effet de la mise en culture le stock organique diminue rapidement au cours des premières années pour atteindre un palier plus ou moins élevé selon

les conditions de milieu et le mode d'exploitation (Fauck, Moureaux et Thomann, 1969 ; Feller et Milleville, 1977 ; Cointepas et Makilo, 1982). Sous culture intensive les pertes peuvent facilement dépasser 50% du stock initial, tandis qu'elle sont beaucoup plus modérées ou même inexistantes sous culture traditionnelle itinérante en zone forestière (Moreau, 1983 ; Turenne, 1977). L'avantage du système traditionnel sur ce point n'est pas aussi évident en zone de savane à longue saison sèche, où l'érosion peut sévir dangereusement du fait d'une reconstitution très lente de la couverture végétale. Les pertes en matière organique découlent du déséquilibre biologique auquel s'ajoutent les exportations par érosion, lessivage et minéralisation accrues (augmentation de température, alternances dessiccation/humectation, variation de pH, travail du sol : Bachelier, 1968 ; Dommergues, 1960 a et b ; Moureaux, 1967). Ces pertes expliquent au moins pour une bonne part, la dégradation de plusieurs caractéristiques importantes du sol liées à la matière organique : stabilité structurale, capacité d'échange).

Des modifications quantitatives du stock organique interviennent également, se traduisant généralement par l'élévation relative des fractions extractibles en milieu alcalin : acides humiques et surtout fulviques les moins condensés (humus) par rapport à la partie non extractible (humine) : Turenne, 1977 ; Feller, 1977 ; Cointepas et MAKILO, 1982. Des rapports étroits entre ces fractions humiques et les réserves en azote minéralisable (facilement hydrolysables) ont été mis en évidence. (Turenne, 1981).

Depuis quelques années, le développement de nouvelles méthodes d'étude : fractionnement physique associé au fractionnement chimique, marquage isotopique..., permet une identification plus précise des principaux compartiments organiques du sol et l'étude de leur dynamique spécifique en relation, d'une part avec la décomposition des résidus végétaux, et d'autre part avec les conséquences sur le plan des propriétés agronomiques. Il importe de chercher à conserver dans les sols tropicaux le stock organique à un niveau suffisant au-dessous duquel les pratiques culturales, y compris la fertilisation, perdent de leur efficacité.

Il s'avère malheureusement difficile d'élever et surtout de maintenir le stock organique par les pratiques courantes d'apports organiques : résidus de culture, engrais verts, fumier et même jachère (Bonzon et de Boissezon, 1986 ; Monnier, 1961 ; Charreau et Fauck, 1969 ; Talineau et al., 1976 ; Roose, 1981), en raison de la valeur élevée du coefficient de minéralisation des matières végétales arrivant au sol (de l'ordre de 98% en zone forestière : Roose et Perraud, 1974).

Des pratiques associant amendements organiques et fertilisants minéraux paraissent indispensables afin d'assurer un statut organique convenable dans les sols tropicaux (Dabin, 1954b). Les études précises sur le devenir d'apports organiques de différentes nature et qualité et leur redistribution dans les

compartiments granulométriques du sol montrent que ces apports n'enrichissent pratiquement pas la fraction <50 : celle des produits humifiés les plus stables (au Sénégal : Feller, Ganry et Cheval, 1981 ; Feller et Ganry, 1982 ; Feller et al., 1983 ; aux Antilles : Brossard et al., 1984). Par contre, l'apport conjoint de pailles de mil ou de maïs compostées et d'urée enrichit cette même fraction fine en carbone et en azote (Feller, Ganry et Cheval, 1981a) ; le coefficient d'utilisation de l'engrais se trouve dans ce cas (compost de maïs, au Sénégal) considérablement amélioré (56%, contre 23% sans compost) (Feller, 1981).

A propos de l'effet d'un apport conjoint d'amendement organique et d'engrais azotés, on doit faire (selon Dabin) une distinction entre les zones tropicales humides et les zones tropicales à longue saison sèche. Dans le 1er cas où les conditions d'activité biologique et d'humidification sont bonnes pendant la plus grande partie de l'année, l'apport de paille ou débris végétaux non décomposés et d'azote permet d'enrichir le stock organique du sol ; dans le 2ème cas où l'évolution des matières organiques n'est possible que pendant une courte période de l'année, il est nécessaire de faire l'apport suffisamment longtemps avant la saison sèche et de préférence sous forme de matière organique végétale déjà préhumifiée (compost) pour obtenir un effet bénéfique sur le stock d'humus ; dans le cas de systèmes agro-pastoraux, l'emploi de fumier est à recommander.

Depuis quelques années, des recherches sont réalisées dans le domaine de la fixation atmosphérique de l'azote par une équipe de chercheurs ORSTOM au Sénégal, avec des collaborations en France (INRA, Toulouse), au Mexique (INIREB, Xalapa), aux Philippines (IRRI, Los Banos) (App et al., 1983 ; Huguet et al. 1983 ; Roger et Watanabé, 1984 ; Rinaudo, 1970, 1983 ; Watanabé et Roger, 1983). Ces travaux portent sur les moyens d'optimiser la fixation d'azote pour réduire la consommation d'engrais azoté. D'ores et déjà les recherches sont suffisamment avancées pour 2 types d'associations symbiotiques qui font l'objet d'expérimentations de pré vulgarisation au champ :

- utilisation des légumineuses à nodulation caulinaire (*Sesbania* et *Aeschynomène* - *Rhizobium* en riziculture, en Casamance et dans la région du fleuve Sénégal.
- inoculation et sélection d'arbres fixateurs d'azote (*Casuarinacées* - *Frankia*) en foresterie tropicale, dans la région de Dakar.

En outre, de nombreux essais avec *Sesbania rostrata* sont actuellement en cours de réalisation par des services agricoles et O.N.G. dans plusieurs pays : Guinée, Mali, Madagascar, Tunisie, Congo, Bengladesh, Philippines, à partir des lots de graines obtenues à Dakar.

II - POTENTIEL ACTUEL : RECHERCHES EN COURS ET MOYENS

- Nouvelle Calédonie - Pacifique Sud.

Programme : Fertilité naturelle et évolution sous culture des principaux sols arables des petits archipels du Pacifique Sud. Fertilité et évolution des sols peu évolués d'apport alluvial, des sols sodiques acides et des vertisols en Nouvelle Calédonie, des sols oxidiques des "toafa" de Wallis et Futuna. Etudes prévues pour les sols du Vanuata en collaboration avec le CIRAD (IRHO).

Moyens :

- Laboratoire et serres d'expérimentation du Centre ORSTOM de Nouméa. Réseau d'expérimentations des services agricoles de Nouvelle Calédonie.
- 2 chercheurs, 1 V.A.T., 3 assistants de laboratoire.

- Ile Maurice

Programme : Comportement des sols dérivés des roches volcaniques sous l'effet des pratiques culturales. Effets du travail minimum en sol non pierreux. Organisation structurale et comportement des sols pierreux en relation avec les projets d'irrigation ; essais machinisme agricole en cultures intercalaires.

Moyens :

- Accueil au MSIRI (Mauritius Sugar Industrial Research Institute)
- 1 chercheur français.

- Côte d'Ivoire

Programme : Incidence des systèmes techniques d'exploitation sur l'évolution du milieu. Etude des mécanismes et processus d'évolution des sols sous culture et mise au point d'itinéraires techniques visant à assurer la pérennité des productions : systèmes vivriers à base manioc en Côte d'Ivoire, canne à sucre au Burkina Faso.

Moyens :

- laboratoire ORSTOM d'Adiopodoumé
- 2 chercheurs français, 3 chercheurs ivoiriens (en accueil).

- Congo

Programme 1 (Brazzaville). Caractérisation et fertilité des sols ferrallitiques au Congo (Niari - Chaillus). Etudes des processus de structuration et dégradation des horizons travaillés, acidification et amendements de terre dans les systèmes de culture à base manioc.

Moyens :

- laboratoire du Centre ORSTOM de Brazzaville
- 2 chercheurs français, 2 chercheurs congolais (en accueil).

Programme 2 (Pointe Noire). Etudes des relations sol-plante et maintien de la fertilité dans des systèmes agroforestiers de la région du Moyombe et du Sud Congo. Conservation des potentialités en milieu forestier ; nature et décomposition des résidus végétaux, influence sur le stock organique et la biologie du sol, recyclage des éléments minéraux.

Moyens :

- laboratoire du Centre ORSTOM de Pointe Noire
- 2 chercheurs français.

- Martinique

Programme : Analyse de la fertilité du sol dans les agricultures traditionnelles caraïbéennes. Effet des restitutions organiques sur propriétés de l'humus et de la disponibilité des éléments minéraux (phosphore et azote, études avec ³²P et ¹⁵N).

Moyens :

- laboratoire du Centre ORSTOM de Fort-de-France
- 3 chercheurs, 1 allocataire de recherche, 1 chimiste et 3 aide-chimistes.

- Vénézuéla

Programme. Evolution du statut organique des sols mis en culture dans les zones andines et caraïbes. Connaissance des compartiments d'azote organique et des flux de matière qui les traversent, sous culture et sous pâture. Méthodes isotopiques et modélisation.

Moyens :

- Laboratoire des Sols. Fac. Ciencias Forestales. ULA, Merida - Venezuela.
- 1 chercheur français (+ 7 participants vénézuéliens).

+ 3 (Avinas)

- Equateur

Programme. Etude de l'érosion et de la fertilité pour la conservation des sols cultivés dans les Andes et l'Amazonie équatorienne. Etude des effets et causes physico-chimiques de l'érosion et de la dégradation de la fertilité des sols. Evaluation et transfert de systèmes de conservation des sols et de la fertilité à la portée de petits agriculteurs.

Moyens :

- Laboratoire des Sols, Direction Nationale Agricole, Quito
- 2 chercheurs, 1 VSN et 1 allocataire de recherches français, (2 ingénieurs équatoriens participants).

- Algérie

Programme. Erosion, conservation et amélioration de la gestion des sols et des eaux. Bilan et évaluation des travaux de défense et restauration des sols ; aménagement intégré de bassins versants et amélioration de leur utilisation (Monts des Beni Chougran et zone de Beni Slimane).

Moyens :

- Collaboration Institut National de Recherche Forestière (Algérie) et l'ORSTOM.
- 2 chercheurs travaillant en mission à partir de Montpellier.

- France

Montpellier : Méthodologies pour l'établissement de diagnostics de la dégradation des sols, l'analyse de processus et la recherche de solutions correctives.

- 2 chercheurs ORSTOM à l'ENGREF (participent au programme Algérie).

Bondy : Caractérisation et évolution de la fertilité des sols tropicaux. Recherches méthodologiques et expérimentales, synthèse et valorisation. Statut de la matière organique, dynamique des formes ioniques des nutriments, évolution sous culture.

- laboratoires du Centre ORSTOM de Bondy
- 3 chercheurs, 2 techniciens et 1 ingénieur de recherche.

- Cadarache

Mise au point de la Technologie E.U.F. (Electro Filtration) pour l'étude de la dynamique des éléments minéraux dans les sols en complément de la technologie des radioéléments.

- Antenne ORSTOM CEA
- 1 chercheur, 1 technicienne.

- Sénégal

Programme. Fixation atmosphérique de l'azote. Etude de quatre types de symbioses selon quelques systèmes choisis en fonction du développement de l'agriculture et de la foresterie en Afrique de l'Ouest : association légumineuses (Sesbania, Aeschynomène) - Rhizobium, association plantes actinorhiziennes casuarinacées - Frankia, association endo ou ecto mycorhiziennes (soja et arachide), synthèse Azolla - Anabeana, et association de cyanobactéries.

Moyens :

- laboratoire ORSTOM de Bel-Air à Dakar
- 8 chercheurs, 1 ITA français (participants sénégalais).

- Philippines

Programme. Etude de la flore algale fixatrice d'azote dans les zirières asiatiques. Ecologie et potentialités des cyanophycées en riziculture.

Moyens :

- Accueil à l'IRRI, Los Banos
- 1 chercheur français.

- Mexique

Programme. Inventaire des espèces activorhiziennes mexicaines.

Moyens :

- Accueil à l'INIREB, Xalapa
- 1 chercheur français.

III - PERSPECTIVES

L'expérience acquise dans la zone intertropicale montre la grande difficulté d'assurer dans ces régions une production agricole intensive, soutenue dans le temps. Il est nécessaire de rechercher la mise au point de systèmes techniques d'exploitation adaptés aux conditions du milieu d'une part, et aux particularités du contexte socio-économique d'autre part : proposition d'itinéraires techniques pouvant être effectivement appliqués par les paysans locaux (faibles niveaux de technicité et d'intrants).

Dans le domaine de la connaissance de la fertilité des sols et de son devenir, l'ORSTOM entend renforcer les recherches sur le fonctionnement actuel des sols en relation avec les contraintes d'exploitation, visant à mieux connaître les processus et mécanismes de transformation de l'état du sol et ses conséquences sur l'évolution de la capacité de production à court et long termes. Ces études touchent :

- Les conditions et facteurs d'évolution et de fonctionnement, dépendant du milieu biophysique et des modalités d'exploitation.
- Les transformations quantitatives et qualitatives portant sur les agents de transformation (physiques et biologiques), les constituants minéraux et organiques, les flux de matière, l'organisation structurale, les propriétés du sol et leurs rapports avec le développement des plantes.
- Au niveau de synthèse on vise à définir les bases scientifiques pour la maîtrise de la fertilité et pour une gestion raisonnée des agrosystèmes tropicaux, selon les conditions de milieu et d'exploitation envisagée.

De façon plus précise, l'importance et la rapidité des transformations qui affectent l'état des sols cultivés conduisent à privilégier deux composantes principales : l'organisation structurale et la matière organique qui exercent ensemble un rôle déterminant vis-à-vis des propriétés essentielles du sol (disponibilité et accessibilité de l'eau et des nutriments, comportement des agents de dégradation, érodibilité...) et dont l'évolution conditionne à terme le devenir de la fertilité édaphique : conservation des sols et de la fertilité.

Les études conduites sur parcelle de culture aussi bien que sur modèle expérimental de terrain ou de laboratoire porteront conjointement sur ces deux composantes : l'organisation structurale à différents niveaux d'échelle, la dynamique des matières organiques et des cycles minéraux associés et les incidences sur les propriétés agronomiques du sol. A côté des méthodes classiques, on s'appuiera sur les possibilités techniques nouvelles : marquage isotopique, microscopie électronique et microsonde, simulations, modélisation.

S'agissant d'évolution de potentiel de fertilité dans le temps, les recherches privilégient naturellement l'approche par système d'exploitation considérant les effets combinatoires et cumulatifs des différentes contraintes et pratiques culturales, plutôt que l'approche par filière de production, plus sectorielle et restrictive.

Dans cet optique, on s'efforcera de tirer parti de la diversité des implantations géographiques pour faciliter les études comparatives et enrichir l'analyse scientifique sur l'évolution des sols en fonction des milieux et modalités d'exploitation (cf. implantations actuelles plus le Brésil ; participation à des programmes et réseaux internationaux : CEE, IBSRAM, IAEA, FAO, UNESCO...).

En même temps, et souvent sur les mêmes sites d'étude, des recherches vont être développées sur le thème de la fertilité biologique, en particulier sous l'angle de la fatigue des sols et des conditions favorables à la pullulation des organismes pathogènes dans le sol : nématodes... (programme au Congo).

L'effort sera maintenu en ce qui concerne la fixation de l'azote atmosphérique et amplifié pour l'étude des mycorrhizes, au Sénégal. La technique d'inoculation de *Sesbania rostrata* favorisant l'accroissement de la fixation d'azote, qui a déjà fait l'objet d'un brevet, sera développé pour être vulgarisée. Les recherches sur la technologie visant à l'amélioration de la fixation d'azote dans le cas des casuarinacées va être poursuivie en vue de son transfert à la foresterie tropicale (brevets en cours de préparation). enfin, les recherches sur les cyanobactéries fixatrices d'azote et sur le système Azola-Anabeana se poursuivent en collaboration avec l'Institut Pasteur.

D'après : bibliographie ORSTOM, notes de M. GAVAUD, sur les sols africains, communications personnelles de G. AUBERT et B. DABIN, programmes des UR 509 et 602.

Bondy, Avril 1986
R. MOREAU

BIBLIOGRAPHIE

APP A., SANTIAGO T., DAEZ D., MENGUITO C., VENTURA W., TIROL A., PO I., WATANABE I., DE DATTA S.K. and ROOGER P.A., 1984 - Estimation of the nitrogen balance for an irrigated rice crop. *Field Crop Research*, 9, 17-27.

AUBERT G., 1960a - Les sols de la zone aride. Etude de leur formation, de leurs caractères, de leur utilisation et de leur conservation. Colloque général sur les problèmes de la zone aride. UNESCO, Paris, 1960, 115-137.

AUBERT G., 1960b - L'acide phosphorique dans les sols des régions tropicales. *Bulletin documentaire AIFS*, 11 p.

AUBERT G., 1962 - Observations on pedological factors that may limit the productivity of the humid tropics. *Int. Soil conf. New Zealand*, 16 p.

AUBERT G., 1968 - Les sols et le maintien de leur fertilité en tant que facteurs affectant le choix de l'utilisation des terres. *Coll. Ressources en sols. UNESCO, Paris*, 53-67.

AUBERT G., 1978 - Irrigation, salinisation et alcalisation des sols dans le Maghreb d'Afrique du Nord. *Séminaire UNEP. URSS Taschkent*.

AUBERT G., MOULINIER H., 1954 - Observations sur quelques caractères des sols de cacaoyères en Côte d'Ivoire. *Agronomie Tropicale*, IX, 4, 428-438.

BACHELIER G., 1960 - Détermination biologique du pouvoir nutritif d'un sol par développement conditionné des microorganismes et dosage de l'oxygène qu'ils absorbent. *Agronomie Tropicale*, XV, 5, 515-524.

BACHELIER G., 1963 - Sur le potentiel d'activité biologique de sols ferrallitiques différemment cultivés. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.* 4, 51-64.

BACHELIER G., 1968 - Contribution de la minéralisation du carbone. *Mém. ORSTOM n° 30*, 145 p.

BIBLIOGRAPHIE

APP A., SANTIAGO T., DAEZ D., MENGUITO C., VENTURA W., TIROL A., PO I., WATANABE I., DE DATTA S.K. and ROOGER P.A., 1984 - Estimation of the nitrogen balance for an irrigated rice crop. Field Crop Research, 9, 17-27.

AUBERT G., 1960a - Les sols de la zone aride. Etude de leur formation, de leurs caractères, de leur utilisation et de leur conservation. Colloque général sur les problèmes de la zone aride. UNESCO, Paris, 1960, 115-137.

AUBERT G., 1960b - L'acide phosphorique dans les sols des régions tropicales. Bulletin documentaire AIFS, 11 p.

AUBERT G., 1962 - Observations on pedological factors that may limit the productivity of the humid tropics. Int. Soil conf. New Zealand, 16 p.

AUBERT G., 1968 - Les sols et le maintien de leur fertilité en tant que facteurs affectant le choix de l'utilisation des terres. Coll. Ressources en sols. UNESCO, Paris, 53-67.

AUBERT G., 1978 - Irrigation, salinisation et alcalisation des sols dans le Maghreb d'Afrique du Nord. Séminaire UNEP. URSS Taschkent.

AUBERT G., MOULINIER H., 1954 - Observations sur quelques caractères des sols de cacaoyères en Côte d'Ivoire. Agronomie Tropicale, IX, 4, 428-438.

BACHELIER G., 1960 - Détermination biologique du pouvoir nutritif d'un sol par développement conditionné des microorganismes et dosage de l'oxygène qu'ils absorbent. Agronomie Tropicale, XV, 5, 515-524.

BACHELIER G., 1963 - Sur le potentiel d'activité biologique de sols ferrallitiques différemment cultivés. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. 4, 51-64.

BACHELIER G., 1968 - Contribution de la minéralisation du carbone. Mém. ORSTOM n° 30, 145 p.

BACHELIER G., 1972 - Etude expérimentale de l'action des animaux sur l'humification des matériaux végétaux. T I : Expériences et conclusions préliminaires. ORSTOM T.D. 14, 76 p.

BACHELIER G., 1973 - Etude expérimentale de l'action des animaux sur l'humification des matériaux végétaux. T II : Action des animaux morts et des acides aminés. Conclusions générales. ORSTOM T.D. 30, 80 p. 14 fig.

BACHELIER G., 1978 - La faune des sols. Son écologie et son action. ORSTOM I.D.T. 38, 292 p., 52 fig., 4 pl. photo.

BENHARD-REVERSAT F., 1984 - Etude de facteurs d'évolution du sol sous Eucalyptus Camaldulensis et sous quelques autres essences au Sénégal. Rapport de synthèse. ORSTOM Dakar Hann, 66 p. multigr.

BLIC Ph. de, 1976 - Le comportement des sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire après défrichage et mise en cultures mécanisées ; rôle des traits hérités du milieu naturel. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. XIV, 2, 113-130.

BLIC Ph. de, 1978 - Morphologie et comportement mécanique des sols de la région centre en culture semi-mécanisée (Côte d'Ivoire). ORSTOM-AVB, Adiopodoumé, 63 p. multigr.

BLIC Ph. de, 1979 - Micromorphologie de la partie supérieure des sols en zone de culture semi-mécanisée dans le Centre Ivoirien. ORSTOM, Institut des Sciences de la Terre, Dijon, 58 p. multigr.

BLIC Ph. de, MOREAU R., 1979 - Structural characteristics changes in ferrallitic soils under mechanical cultivation in the marginal forest areas of the Ivory Coast. In : Soil physical and crop production in the tropics. Wiley, Chichester : 111-122.

BOISSEZON P. de, 1961 - Contribution à l'étude de la microflore de quelques sols typiques du Congo. Rapport inédit ORSTOM.

BONZON B., BOISSEZON P., 1986 - Effet de l'apport de fumier sur les caractéristiques chimiques d'un sol ferrallitique ivoirien. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., (à paraître).

BOUYER S., DABIN B., 1963 - Etudes pédologiques du delta central du Niger. Agronomie Tropicale, n° 12, 1300-1304.

BOYER J., 1970 - Essai de synthèse des connaissances acquises sur les facteurs de fertilité des sols en Afrique intertropicale francophone. ORSTOM, Paris, 175 p.

BOYER J., 1978 - Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et subhumides. ORSTOM I.D.T. 35, 174p.

BOYER J., 1982 - Les sols ferrallitiques. T X : Facteurs de fertilité et utilisation des sols. ORSTOM I.D.T. 52, 300 p., 23 fig., 100 tabl., 1000 réf. biblio.

BOYER J., COMBEAU A., 1960 - Etude de la stabilité structurale de quelques sols ferrallitiques de la République Centrafricaine. Sols Africains 1960, V, 1, 6, 42.

BRAUDEAU E., 1984 - Evolution des sols sous culture mécanisée. Essais "Systèmes de culture" du CRAL. A. constat physico-chimique des horizons humifères en octobre 1983 après 4 années de culture. ORSTOM Brazzaville, 38 p. multigr.

BROSSARD M., BALESDENT J., FELLER C., PLENECASSAGNE A., TURENNE J.F., 1984 - Etude de la matière organique des sols par fractionnement granulométrique. 1 : Décomposition au champ d'un compost enfoui dans plusieurs types de sols des Antilles. 20ème Congrès Société Caraïbes des Plantes Alimentaires. 21-26 Octobre. StCroix. Iles Vierges.

BRUGIERE J.M., 1954 - Le problème de l'humus dans l'utilisation rationnelle des sols de la vallée du Niari en agriculture mécanisée (Moyen Congo). 2ème Conf. Interafricainé des Sols. Léopoldville, II, 1223-1231.

CHARREAU C., FAUCK R., 1969 - Mise au point sur l'utilisation agricole des sols de la région de Séfa (Casamance). Agronomie Tropicale, XXV, 2.

CHAUVEL A., 1977 - Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. ORSTOM T.D. n° 62, 532 p.

CHAUVEL A., MONNIER A., 1967 - Sur la signification générale de l'analyse granulométrique en pédologie. Examen des problèmes posés par la caractérisation de la structure de certains sols tropicaux. Académie des Sciences t. 124.

COINTEPAS J.P., 1956 - Premiers résultats des mesures d'érosion en Moyenne Casamance (Sénégal). 6ème Congrès International de la Science du sol. Paris, VI, 15, 569-576.

COINTEPAS J.P., 1960 - Bilan des études chimiques et pédologiques entreprises à la Station Expérimentale de Sefa. ORSTOM, Tunis, 110 p.

COINTEPAS J.P., 1965 - Irrigation à l'eau salée et drainage en Tunisie. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., III, 4, 299-306.

COINTEPAS J.P., MAKILO R., 1982 - Bilan de l'évolution des sols sous cultures intensives dans une station expérimentale en milieu tropical humide (Centrafrique). Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XIX, 3 : 271-282.

COLLINET J., VALENTIN C., 1979 - Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives. Applications agronomiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XVII, 4, 283-328.

COLLINET J., VALENTIN C., 1984 - Evaluation of factors influencing water erosion in West Africa using rainfall simulation. Proceedings of the HARARE Symp., Aout, IAHS, Publ. n°44, 451-461.

COLLINET J., COUTURIER G., GUILLAUMET J.L., KAHN F., MOREAU R., SANGARE Y., 1984 - Le système cultural traditionnel et ses contraintes. In : Recherche et aménagement en milieu forestier tropical humide : Le projet Taï de Côte d'Ivoire. Notes Techniques du mab 15, UNESCO.

COMBEAU A., 1964 - Remarques sur les facteurs de variation des limites d'Atterberg. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., II, 4, 29-39.

COMBEAU A., MONNIER G., 1961 - Méthode d'étude de la stabilité structurale. Application aux sols tropicaux. Sols Africains, VI, 1, 5-62.

COMBEAU A., QUANTIN P., 1963b - Observations sur les variations dans le temps de la stabilité structurale des sols en région tropicale. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 3, 17-26.

COMBEAU A., QUANTIN P., 1964a - Observations sur l'évolution à long terme de la stabilité structurale de certains sols tropicaux sous culture et sous jachère. 8ème Congrès International de la Science du Sol, Bucarest.

COYAUD Y., DABIN B., VINCENT D., 1957 - Réponse du riz à la fumure, en riziculture aquatique à l'Office du Niger. Riz et Riziculture, 2ème et 3ème trim., 65-73.

DABIN B., 1951a - Alimentation minérale du riz. Interprétation d'un essai d'engrais réalisé à l'Office du Niger. Agronomie Tropicale, n° 9-10.

DABIN B., 1951b - Contribution à l'étude des sols du delta central nigérien. Agronomie Tropicale, n° 11-12, 606-637.

DABIN B., 1954a - Les problèmes de l'utilisation des sols à l'Office du Niger. 2ème Conférence Interafricaine des Sols. Léopoldville, II, 92, 1162-1176.

DABIN B., 1954B - Premières notions sur la flore microbienne utile dans les sols du delta central du Niger. Agronomie Tropicale, n°3, 302-311.

DABIN B., 1956 - Considération sur l'interprétation agronomique des analyses de sols en pays tropicaux. VIème Congrès International de la Science du Sol, Paris, IV, 58, 403-409.

DABIN B., 1959 - Etude de trois années d'érosion à la station d'Adiopodoumé. ORSTOM, multigr.

DABIN B., 1960 - Utilisation d'un indice de structure pour la détermination de la qualité physique des sols tropicaux. 7ème Congrès International de la Science du Sol, Madison, I, 311-320.

DABIN B., 1961 - Les facteurs de la fertilité des sols des régions tropicales en culture irriguée. Bulletin spécial AFES, 108-130.

DABIN B., 1962 - Relations entre les propriétés physiques et la fertilité dans les sols tropicaux. Annales agronomiques, 13, 2, 111-140.

DABIN B., 1963 - Appréciation des besoins en phosphore dans les sols tropicaux. Les formes de phosphore dans les sols de Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 27-42.

DABIN B., 1964a - Etudes des formes du phosphore dans quelques sols des Antilles. Action sur l'alimentation phosphatée de la canne à sucre. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., I, 5-11.

DABIN B., 1964b - Analyse physique et fertilité dans les sols des régions humides de Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., I, 29-40.

DABIN B., 1967 - Sur une méthode d'analyse du phosphore dans les sols tropicaux. Colloque sur la fertilité des Sols Tropicaux. Tananarive, 19-25 Nov., I, 99-115.

DABIN B., 1968 - Compte rendu des débats du point I. Colloque sur la fertilité des Sols Tropicaux. Tananarive, 19-25 Nov. 1967. "in" Agromonie Tropicale, 184-190.

DABIN B., 1969 - Etude générale des conditions d'utilisation des sols de la cuvette tchadienne. ORSTOM T.D., 199 p.

DABIN B., 1970a - Méthode d'étude de la fixation du phosphore sur les sols tropicaux. Coton et Fibres Tropicales. Vol. XXV, 3, 44p.

DABIN B., 1970c - Les facteurs chimiques de la fertilité des sols, in Techniques Rurales en Afrique, pédologie et développement. ORSTOM et BDPA, Paris, 278 p.

DABIN B., 1971 - Evolution des engrais phosphatés dans un sol ferrallitique, dans un essai de longue durée. In : Phosphore et Agriculture, N° 58, 1' p.

DABIN B., 1974 - Evolution des phosphates en sols acides des régions tropicales. Bulletin A.F.E.S. n°2, 87-104.

DABIN B., 1979 - Phosphorus deficiency in tropical soils as a constraint on agricultural out-put. Compte-rendu congrès : Soil related constraints to food production in the tropics. IRRI, Los Banos, Philippines, 217-230.

DABIN B., 1980-81 - Les matières organiques dans les sols tropicaux normalement drainés. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XVIII, n°3-4, 197-215.

DABIN B., 1982 - Relation entre l'évolution des compartiments humiques sous culture et les facteurs physiques et chimiques de fertilité dans différents sols tropicaux. Compte-rendu colloque région sur la matière organique du sol. Piracicaba, Sao-Paulo, Brésil, 87-96.

DABIN B., 1984 - Les sols tropicaux acides. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XXI, n°1, 7-20 (1984-1985).

DABIN B., LENEUF N., 1958 - Etude de l'érosion et du ruissellement en Basse Côte d'Ivoire. ORSTOM, 20 p. multigr.

DABIN B., LENEUF N., 1960 - Les sols de Bananeraie en Côte d'Ivoire. fruits, 15, 3, 117-127.

DABIN B., MAIGNIEN R., 1979 - Les principaux sols de l'Afrique de l'ouest et leurs potentialités agricoles. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XVIII, n°4, 235-257.

DENIS B., BONZON B., JICQUEL J.C., 1984 - Influence des différentes doses de croûte calcaire sur des cultures de maïs, haricot et pomme de terre sur sol sodique acide. ORSTOM, Nouméa, 187 p. multigr.

DOMMERMUES Y., 1953b - A propos de l'*Azotobacter indicum*. Mémoires Inst. Sci. Madagascar, sér. D, V, 353-356.

DOMMERMUES Y., 1956a - Action d'amendements calciques et de phosphate sur l'activité biologique de deux sols du Sénégal. 6ème Congrès International de la Science du Sol, Paris, III, 64, 381-387.

DOMMERMUES Y., 1960c - Influence du rayonnement infrarouge et du rayonnement solaire sur la teneur en Azote minéral et sur quelques caractéristiques biologiques des sols. Agronomie Tropicale, XV, 4, 377-389.

DOMMERMUES Y., 1960d - Minéralisation de l'Azote aux faibles humidités. 7th Inter. Congress of Soil Science, Madison, Wisc. USA, III, 672-678.

DOMMERMUES Y., 1977 - La biologie des sols. Que sais-je n° 399, 128 p.

DOMMERMUES Y., MANGENOT F., 1970 - Ecologie microbienne du sol. Paris, Masson et Cie, 769 p.

DUGAIN F., 1959 - Le sulfate d'ammoniac dans le sol en culture bananière de bas fonds. Fruits, 14, 4. 163-169.

FAO/UNESCO, 1973 - Irrigation, drainage, and salinity. An international source book. (Ed. V.A. Kovda, C. Van den Berg. R.M. Hazan). London, Rome, Paris, 510 p.

FAUCK R., 1956a - L'évolution du sol sous culture mécanisée. Le problème du pH et sa correction. 6ème Congrès International de la Science du sol, Paris, IV, 55. 379-382.

FAUCK R., MOUREAUX C., THOMANN Ch., 1969 - Bilans de l'évolution des sols de Sefa (Casamance Sénégal) après 15 années de culture continue. *Agronomie Tropicale*, 3, 263-301.

FELLER C. 1977 - Evolution des sols de défriche récente dans la région des Terres Neuves (Sénégal oriental). 2ème partie : Aspects biologiques et caractéristiques de la matière organique. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, XV, 3, 291-302.

FELLER C., 1981 - Transformation de résidus de récolte marqués (paille 14C, 15N, compost 14C) et devenir de l'azote engrais (urée 15N) dans un agrosystème tropical. *ORSTOM, Dakar*, 64 p. multigr.

FELLER C., GANRY F., 1982 - Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agrosystème tropical. T3 : Effet de l'enfouissement de divers résidus de récolte sur la répartition de la matière organique dans différents compartiments d'un sol sableux. *Agronomie Tropicale*, XXXVII, 3.

FELLER C., MILLEVILLE, 1977 - Evolution des sols de défriche récente dans la région des Terres Neuves (Sénégal oriental). 1ère partie : Présentation de l'étude et évolution des principales caractéristiques morphologiques et physico-chimiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, XV, 3, 291-302.

FELLER C., GANRY F., CHEVAL M., 1981 - Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agrosystème tropical. T1 : Influence d'une fertilisation azoté (urée) et d'un amendement organique (compost) sur la répartition du carbone et de l'azote dans différents compartiments d'un sol sableux. *Agronomie Tropicale*, XXXVI, 1.

FELLER C., BERNHARD-REVERSAT F., GARCIA J.L., PANTIER J.J., VAN VLIET LANDE B., 1983 - Etude de la matière organique de différentes fractions granulométriques d'un sol sableux tropical. Effet d'un amendement organique. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.* XXX, 3, 223-238.

FORESTIER J., 1960 - Fertilité des sols de caféières en République Centrafricaine. *Agronomie Tropicale*, XV, 1, 9-37 et XIV, 3, 306-348.

FORESTIER J., 1964 - Relations entre l'alimentation du *Coffea Robusta* et les caractéristiques analytiques des sols. *Café, cacao, thé*, VIII, 2, 89-112.

FOURNIER F., 1967 - La recherche en érosion et conservation des sols dans le Continent Africain. Sols Africains, XIII, 1, 5-52.

FRANQUIN P., MARTIN G., 1962 - Bilan d'eau et conservation du sol au Niari, République du Congo. Coton et fibres tropicales, XVII, 3, 345-356.

FRITZ A., VALLERIE M., 1971 - Contribution à l'étude des déficiences minérales sous culture cotonnière du Nord Cameroun. Coton et Fibres Tropicales, XXVI, 10, 609-616.

GEOFFROY F., 1978 - Normes utilisées au Maroc pour l'établissement des cartes de classement des sols en vue de la culture sous irrigation. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XVI, 2, 177-192.

GIRESSSE P., JAMET R., 1982 - Essai de fertilisation de la culture de manioc par les sédiments marins glauconieux du Congo. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XIX, 3, 283-292.

HUGUET T., ROSENBERG C., CASSE-DELBART F., DE LAJUDIE, JOUANIN L., BATUT J., BOISTARD P., JULLIOT J.S., DENARIE J., 1983 - Studies on *Rhizobium meliloti* plasmid and on their role in the control of nodule formation and nitrogen fixation : the psym megaplasmids and the other large plasmids. In : Molecular Genetics of the Bacteria - Plant Interaction. A. Püller Ed., Springer-Verlag, Berlin, 35-45.

HUMBEL F.X., 1965 - Etude des sols halomorphes du Nord-Cameroun. Transformation des "Harde" par sous-solage et culture du cotonnier. ORSTOM, Yaoundé, 63 p. multigr.

JAMET R., 1975 - Evolution des principales caractéristiques des sols des reboisements de Loudina (Congo). Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XIII, 3-4, 279-300.

KOUAME YAO, 1982 - Etude des sols rouges montmorillonitiques arides de la Martinique. Thèse Paris VIII, 193 p.

LATHAM R., 1971 - Rôle du facteur sol dans le développement du cotonnier en Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., IX, I, 29-42.

LEVEQUE A., 1980 - Etude de l'évolution de la fertilité chimique de quelques sols sous des reboisements en essences papetières. Premiers résultats sous *Pinus caribea* et *Pinus oocarpa*. ORSTOM Adiopodoumé, CTFT côte d'Ivoire, 14 p. multigr.

LEVEQUE A., 1981 - Etude de l'évolution de la fertilité chimique de quelques sols de reboisement en essences papetières. Premier résultats sous *Guilina arborea*. ORSTOM Adiopodoumé, CTFT Côte d'Ivoire, 19 p. multigr.

LEVEQUE A., 1982 - Quelques aspects de la structure des sols ferrallitiques en saison humide. Implications concernant le cotonnier dans le nord de la Côte d'Ivoire. ORSTOM Adiopodoumé, 33 p. multigr.

MARTIN D., 1982 - Les caractéristiques physico-chimiques des sols ferrallitiques jaunes du Wolem N'Tem (Gabon). Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XIX, 2, 117-129.

MARTIN D., SIEFFERMANN G., 1966 - Le département du Mungo (Ouest Cameroun). Etude des sols et de leur utilisation. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. IX, 1, 27-49.

MARTIN G., 1959 - Le décalcification des terres du Niari. Actions des amendements calcaires. Oléagineux, 14, 213-220.

MARTIN G., 1963 - Dégradation de la structure des sols sous culture mécanisée dans la vallée du Niari. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 2, 8-14.

MARTIN G., 1967 - L'évolution des sols sous cultures. In : Quinze ans de travaux et de recherches dans les Pays du Niari : 1949-1964 (République Populaire du Congo). Ministère de la Coopération éditeur, 53-145.

MARTIN G., 1970 - Synthèse agropédologique des études ORSTOM dans la vallée du Niari en République du Congo. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., VIII, 1, 63-79.

MARTIN-PREVEL P., 1966 - Influence de doses massives d'engrais sur la composition minérale du régime de bananes. Fruits, 21, 4, 175-185.

MAYMARD G., 1957 - Etude expérimentale des facteurs naturels influant sur les cultures de décrue. Essai de Guédé 1956-1957. Fascicule A ORSTOM.

MONNIER G., 1965 - Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Annales agronomiques 16, 4, 327-400 et 5, 475-534.

MOREAU R., 1978 - Influence de l'ameublissement mécanique et de l'infiltration d'eau sur la stabilité structurale d'un sol ferrallitique dans le centre de la Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XVI, 4, 413-424.

MOREAU R., 1983 - Evolution des sols sous différents modes de mise en culture en Côte d'Ivoire forestière et préforestière. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XX, 4, 311-326.

MOREAU R., 1984 - Etude sur parcelles comparatives de l'évolution des sols ferrallitiques sous différents modes de mise en culture en zones forestière et préforestière de Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., Vol. XXI, n° 1, 43-56 (1984-1985).

MOULINIER H., 1962 - Contribution à l'étude agronomique des sols de Basse Côte d'Ivoire. Bull. Inst. Français du Café et du Cacao, 3.

MOURARET M., 1965 - Contribution à l'étude de l'activité des enzymes du sol. L'asparaginase. Mém. ORSTOM n° 9, 112 p.

MOUREAUX C., 1967 - Influence de la température et de l'humidité sur les activités biologiques de quelques sols ouest africains. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., V, 4, 393-420.

MOUREAUX C., FAUCK R., 1967 - Influence d'un excès d'humidité temporaire sur quelques sols de l'Ouest Africain. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., V.1, 103-113.

NONI G.L. de, 1984 - Estudio de la erosion y de las practicas de conservacion del suelo en Ecuador baso la implantacion de una red de prayedos-pilotas. Seminaire UNESCO sur la perception de l'environnement. Montevideo. 5 p., 1 carte H.T (1/4000000 : principales zones érodées en Equateur et localisation de projets pilotes).

NOVIKOFF G., 1964 - Limitations imposées par le sol, le type de culture et l'emploi exclusif de la végétation dans le choix des solutions pratiques de conservation des sols en Tunisie méridionale. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., II, 4, 41-48.

PICARD D., 1967 - Dynamique racinaire et apport au sol de matière organique en milieu tropical humide. Thèse ORSTOM, ParisV, 275 p. multigr.

PERRAUD A., 1971 - La matière organique des sols forestiers de la Côte d'Ivoire. thèse, Nancy, 134 p.

PNUD/UNESCO, 1970 - Recherches et formation en matière d'irrigation avec des eaux salées. Tech.Rpt./UNESCO/UNDP, (SF) TUN5, Paris, 243 p.

RINAUDO G., 1970 - Fixation biologique de l'azote dans trois types de sols de rizières de Côte d'Ivoire. ORSTOM, 122 p.

RINAUDO G., 1973 - Fixation hétérotrophe de l'azote dans la rhizosphère du riz, 214 p., 29 fig.

ROGER P.A., WATANABE I., 1984 - Algae and aquatic weeds as a source organic matter and plant nutrient for rice. In : Organic Matter and Rice. The International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, 148-168.

ROOSE E., 1967a - Quelques exemples des effets de l'érosion hydrique sur les cultures. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux. Tananarive, 19-25 Nov., II, 1385-1404.

ROOSE E., 1967b - Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal. Agronomie Tropicale, XXII, 2, 123-152.

ROOSE E., 1973 - Dix sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de Basse Côte d'Ivoire. Contribution à l'étude de l'érosion hydrique en milieu inter-tropical. ORSTOM Abidjan. Thèse Doct. Ing. Fac. Sci. Abidjan n° 20, 125 p.

ROOSE E., 1977 - Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest ; vingt années de mesure en petites parcelles expérimentales. ORSTOM T.D. n° 78, 108 p.

ROOSE E., 1981 - Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées. ORSTOM T.D. n° 30, 569 p.

ROOSE E., 1983 - Ruissellement et érosion avant et après défrichement en fonction des types de cultures en Afrique Occidentale. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XX, 4, 327-339.

ROOSE E., GODEFROY E., 1968 - Lessivage des éléments fertilisants en bananeraie. Fruits, 23, 11, 580-584.

ROOSE E., PERRAUD A., 1974 - Nature des composés humiques des eaux de ruissellement et de drainage et essai d'évaluation des migrations de matière organique sous végétation naturelle en région tropicale. In C.R. Xème Congrès Assoc. Int. Sci. Sol. Moscou, 6, 74-80.

RUELLAN A., 1964 - Sur la salure des horizons profonds (encroutements des sols à croûte calcaire du Zebra). VIIIème Congrès Assoc. Int. Sci. Sol, Bucarest.

TALINEAU J.C., HAINNAUX G., BONZON B., FILLONNEAU C., PICARD D., SICOT M., 1976 - Quelques conséquences agronomiques de l'introduction d'une sole fourragère dans une succession culturale du milieu tropical humide de Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, sér. Biol., XI, 4, 277-290.

TALINEAU J.C., BONZON B., FILLONNEAU C., HAINNAUX G., 1979 - Contribution à l'étude d'un agrosystème prairial dans le milieu tropical humide de la Côte d'Ivoire. 1 : Analyse de quelques paramètres de l'état physique du sol. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XII, 2, 141-157.

TURENNE J.F., 1977 - Shifting cultivation and forest fallow in French Guyana, Dynamics of organic matter. IV Symposium de Ecologia Tropical, 7-11 Marz, Panama, 17 p. multigr.

TURENNE J.F., 1981 - Nitrification et formes aminées de l'humus. Coloquio regional sobre wateria organico do solo, 18-20 octobre. Universidade de Sao Paulo, Centro Energia Nuclear via Agricultura, 15 p. multigr.

VALENTIN C., 1983 - Effets de pâturage et du piétinement sur la dégradation des sols autour des points d'eau artificiels en région sahélienne (Ferlo Nord Sénégal) ORSTOM, Dakar, 38 p.

VALENTIN C., 1985 - Organisations pelliculaires superficielles de sols de régions subdésertiques. Dynamique de formation et conséquence sur l'économie en eau. ORSTOM Et. Th., 260 p, 11 pl. photo.

VALLES V., VALLES A.M., DOSSO M., 1983 - Irrigation des sols salés et doses de lessivage. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XX, 2, 119-127.

VERLIERE G., 1981 - Etude par la méthode du diagnostic foliaire de la fertilisation et de la nutrition minérale du cacaoyer. ORSTOM T.D. n° 31, 276 p., 30 fig.

VERNEY P., WILLAIME P., 1965 - Résultats des études de l'érosion sur parcelles expérimentales entreprises au Dahomey. Symposium on the maintenance and improvement of soil fertility. Khartoum, 43-53.

WATANABE J., ROGER P.A., 1983 - Nitrogen fixation in wetland rice fields. In : Currents developments in Biological Nitrogen Fixation (N.S. subba Rao Ed.), Oxford and IBH, New Delhi, 237-276.

OUVRAGES GENERAUX

Chimie et physico-chimie

AUBERT H., PINTA M., 1971 - Les éléments traces dans les sols. ORSTOM T.D. n° 11, 88 p., 98 tabl.

BOYER J., 1978 - Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et sub-humides. ORSTOM I.D.T. n° 35, 174 p.

PELLOUX P., 1971 - Méthode de détermination des cations échangeables et de la capacité d'échange dans les sols. ORSTOM I.D.T. n° 17, 118 p.

RUELLAN A., DELETANG J., 1967 - Les phénomènes d'échange de cations et d'anions dans les sols. ORSTOM I.D.T. n° 5, 124 p.

SEGALEN P., 1964 - Le fer dans les sols. ORSTOM I.D.T n°4, 150 p.

SEGALEN P., 1973 - L'aluminium dans les sols. ORSTOM I.D.T. n°22, 282p.

Physique du sol

FOURNIER F., 1960 - Climat et érosion. La relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. La chaleur et le sol. ORSTOM I.D.T. n° 29, 222 p.

HENIN S., 1976-1977 - Cours de Physique du Sol.

TI : Texture - Structure - Aération, 1976. ORSTOM I.D.T. n° 28, 160 p.

TII : L'eau et le sol, les propriétés mécaniques, la chaleur et le sol. ORSTOM I.D.T. n° 29, 222 p.

HUMBEL F.X., 1976 - L'espace poral des sols ferrallitiques du Cameroun. ORSTOM T.D. n° 24, 306 p.

PNUD/UNESCO, 1970 - Recherches et formation en matière d'irrigation avec des eaux salées. Tech.Rpt./UNESCO/UNDP, (SF) TUN5. Paris, 243 p.

ROOSE E., 1977 - Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. ORSTOM T.D. n° 78, 108 p.

ROOSE E., 1981 - Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Etudes expérimentales des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées. ORSTOM T.D. n° 130, 570 p.

VALENTIN C., 1985 - Organisations pelliculaires superficielles de sols de régions subdésertiques. Dynamique de formation et conséquence sur l'économie en eau. ORSTOM Et. Th., 260 p, 11 pl. photo.

Matière organique et biologie du sol

BACHELIER G., 1972-1973 - Etude expérimentale de l'action des animaux sur l'humidification des matériaux végétaux.

TI : Expériences et conclusions préliminaires, 1972. ORSTOM T.D. n° 14, 176 p. TII : Action des animaux morts et des acides aminés. Conclusions générales, 1973. ORSTOM T.D. n° 30, 80 p, 14 fig.

BACHELIER G., 1978 - La faune des sols. Son écologie et son action. ORSTOM I.D.T. n° 38, 392 p, 52 fig., 4 pl. photo.

BOISSEZON P. de, MOUREAUX Cl., BOCQUEL G., BACHELIER G., 1973 - La matière organique et la vie dans les sols ferrallitiques (TIV). In : Les sols ferrallitiques. ORSTOM I.D.T. n° 21, 146 p, 17 fig.

DOMMERMUES Y., MANGENOT F., 1970 - Ecologie microbienne du sol. Paris, MASSON et Cie, 769 p.

DOMMERMUES Y., 1977 - La biologie des sols. Que sais-je, n° 399, 128 p.

MOURARET M., 1965 - contribution à l'étude de l'activité des enzymes du sol. L'asparaginase. ORSTOM Mem. n° 9, 112 p.

PICARD D., 1976 - Dynamique racinaire et apport au sol de matière organique en milieu tropical humide. ORSTOM - Paris V, 275 p.

RINAUDO G., 1983 - Fixation hétérotrophe de l'azote dans la rhizosphère du riz. ORSTOM, 214 p, 29 fig.

Fertilisation et nutrition minérale

BOYER J., 1970 - Essai de synthèse des connaissances acquises sur les facteurs de fertilité des sols en Afrique intertropicale francophone. Comité des sols tropicaux, Londres 14-18 juin 1970. ORSTOM, Paris, 175 p.

BOYER J., 1982 - Facteurs de fertilité et utilisation des sols (TX). In: Les sols ferrallitiques. ORSTOM I.D.T. n° 52, 300 p, 23 fig., 100 tabl.

DABIN B., 1969 - Etude générale des conditions d'utilisation des sols de la cuvette tchadienne. ORSTOM T.D. n° 2, 200 p.

Ministère de la Coopération - Techniques Rurales en Afrique.

- Pédologie et Développement, 1970, BDPA-ORSTOM, 278 p.

- Conservation des sols au sud du Sahara, 1969; BDPA-CTFT-ORSTOM-SCET.

Ch. Document

7

FERTILITE DES SOLS ET FERTILISATION
DES CULTURES TROPICALES
L'EXPERIENCE DU CIRAD ET DE L'ORSTOM

A N N E X E S

QUELQUES OUVRAGES PUBLIES PAR LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
TROPICALE FRANCAISE.

- Chimie et physico-chimie :

AUBERT H., PINTA M. 1971. Les éléments traces dans le sol. ORSTOM T.D. n°11, 88 p, 98 tabl.

BOYER J. 1978 . Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et sub-humides. ORSTOM I.D.T. n°35, 174 p.

PELLOUX P. 1971 . Méthode de détermination des cations échangeables et de la capacité d'échange dans les sols. ORSTOM I.D.T. n°17, 118 p.

ROCHE P., GRIERE L., BABRE D., CALBA H., FALLAVIER P. 1981. Le phosphore dans les sols tropicaux : appréciation des niveaux de carences et des besoins en phosphore. 48 p.

RUELLAN A., DELETANG J. 1967. Les phénomènes d'échange de cations et d'anions dans les sols. ORSTOM I.D.T., n°5, 124 p.

SEGALEN P. 1964. Le fer dans les sols. ORSTOM I.D.T., n°4, 150 p.

SEGALEN P. 1973. L'aluminium dans les sols. ORSTOM I.D.T., n°22, 282p.

- Physique du sol :

CHARREAU C., NICOU R. 1971. L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest africaine et ses incidences agronomiques. Nogent sur Marne, IRAT, 254 p. Bulletin Agronomique, n°23.

FOURNIER F. 1960. Climat et érosion. La relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. P.U.F. (Paris). 202 p.

HENIN S. 1976, 1977 - Cours de Physique du sol.
 TI : Texture - Structure - Aération, 1976. ORSTOM I.D.T. n°28, 160 p.
 TII: L'eau et le sol. Les propriétés mécaniques. La chaleur et le sol. ORSTOM I.D.T., n°29, 222 p.

HUMBEL F.X. 1976. L'espace poral des sols ferrallitiques du Cameroun. ORSTOM T.D., n° 24. 306 p.

ROOSE E. 1977. Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. ORSTOM T.D. n°78, 108 p.

ANGLADETTE A., DESCHAMPS L. 1974. Problèmes et perspectives de l'agriculture dans les pays tropicaux. Paris, Maisonneuve et Larose, 770 p. (fertilisation. fumure 381-453 p.).

BOYER J. 1970. Essai de synthèse des connaissances acquises sur les facteurs de fertilité des sols en Afrique intertropicale francophone. Comité des sols tropicaux, Londres 14-18 juin 1970. ORSTOM. Paris. 175 p.

BOYER J. 1982. Facteurs de fertilité et utilisation des sols (Tx) in : Les sols ferrallitiques. ORSTOM I.D.T., n°52., 300 p., 23 fig., 100 tabl.

CHAMPION J. 1963. Le bananier. Paris, Maisonneuve et Larose, 263 p. (Chap. VI la fertilisation - fumure p. 109-129).

CIRAD-GERDAT., ISRA. 1985. La sécheresse en zone intertropicale, pour une lutte intégrée. Paris, CILF, 591 p. (fertilisation p. 341-363).

CORLEY R.H.V., MARDON J.J., WOOD B.J. 1976. Oil palm research. Amsterdam, Elsevier, 532 p. (developments in crop science 1.) nutrition minérale... p. 183-213).

COSTE R. 1968. Le caféier. Paris, Maisonneuve et Larose, 310 p. (la fertilisation chap.V, p. 100-109).

DABIN B. 1969. Etude générale des conditions d'utilisation des sols de la cuvette tchadienne. ORSTOM T.D., n°2, 200 p. Ministère de la Coopération - Techniques Rurales en Afrique
- Pédologie et Développement, 1970. BDPA-ORSTOM, 278 p.
- Conservation des sols au Sud du Sahara, 1969. BDPA-CTFT-ORSTOM-SCET.

FAO. 1983. Technical handbook on symbiotic nitrogen fixation legume / rhizobium. multipag.

FAUCONNIER R., BASSEREAU D. 1970. La canne à sucre. Paris, Maisonneuve et Larose, 468 p. (fertilisation p.).

FREMOND .Y., ZILLER R., NUCE de la MOTHE M. de. 1966. Le cocotier. Paris, Maisonneuve et Larose, 266 p. (fertilisation-fumure p. 113-138).

GILLIER P., SILVESTRE P. 1969. L'arachide. Paris, Maisonneuve et Larose, 292 p. (fertilisation p. 107-124).

IRAT. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux. Tananarive, Madagascar, 19-25 novembre 1967, 2 233 p. (2 tomes). Paris, IRAT, 1968.

IRFA. 1985. La culture de l'ananas d'exportation en Côte d'Ivoire. Abidjan : Dakar : Lomé, les Nouvelles Editions Africaines, 112 p. (3e partie - nutrition, fertilisation p. 47-52)

JACQUOT M., COURTOIS B. 1983. Le riz pluvial. Paris, Maisonneuve et Larose, ACCT., 134 p. (la fertilisation p. 70-80).

LARO USSILHE F. de. 1980. Le Manguier. Paris, Maisonneuve et Larose, 312 p. (chap. IX fertilisation p. 159-179):

ROOSE E. 1981. Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sans végétations naturelles ou cultivées. ORSTOM T.D., n°130, 570 p.

UNESCO - Tunisie, 1970. Recherches et formation en matière d'irrigation avec des eaux salées. Tech. Rep. UNESCO-UNDP, (5F) TUN 5. Paris, 243 p.

VALENTIN C. 1985. Organisations pelliculaires superficielles de sols de régions subdésertiques. Dynamique de formation et conséquence sur l'économie en eau. ORSTOM Et. Th., 260 p, 11 pl. photo.

- Matière organique et biologie du sol :

BACHELIER G. 1972, 1973. Etude expérimentale de l'action des animaux sur l'humification des matériaux végétaux.

T I : Expériences et Conclusions préliminaires, 1972 - ORSTOM T.D. n°14, 76 p.

TII : Action des animaux morts et des acides aminés. Conclusions générales, 1973. ORSTOM I.D.T. n°30, 80 p. 14 fig.

BACHELIER G. 1978. La faune des sols. Son écologie et son action. ORSTOM I.D.T., n°38, 392 p., 52 fig., 4 pl. photo.

BOISSEZON P. de, MOUREAUX Cl., BOCQUEL G., BACHELIER G. 1973. La matière organique et la vie dans les sols ferrallitiques (TIV). In : Les sols ferrallitiques. ORSTOM I.D.T. n°21, 146 p., 17 fig.

DOMMARGUES Y.R., DIEM H.G. 1982. Microbiology of tropical soils and plant productivity. The Hague, Martinus Nijhoff. 328 p.

DOMMARGUES Y., MANGENOT F. 1970. Ecologie microbienne du sol. Paris, Masson et Cie. 769 p.

DOMMARGUES Y. 1977. La biologie des sols. Que sais-je, n°399, 128 p.

MOURARET M. 1965. Contribution à l'étude de l'activité des enzymes du sol. L'asparaginase. ORSTOM Mem., n°9, 112 p.

PICARD D. 1976. Dynamique racinaire et apport au sol de matière organique en milieu tropical humide. ORSTOM-Paris V, 275 p.

RINAUDO G. 1983. Fixation hétérotrophe de l'azote dans la rhizosphère du riz. ORSTOM. 214 p., 29 fig.

- Fertilisation et nutrition minérale :

ANGLADETTE A. 1966. Le riz. Paris, Maisonneuve et Larose, 930 p. (fertilisation p. 331-369).

4

MERLIER H., MONTEGUT J. 1982, Adventices tropicales. flore au stade plantule et adulte de 123 espèces africaines ou pantropicales. Paris, MRE, ORSTOM, GERDAT, ENSH. 490 p.

MARTIN-PREVEL P., GAGNARD J., GAUTIER P. coord. 1981. L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales. Paris, Lavoisier, 810 p.

MUNIER P. 1973. Le palmier-dattier. Paris, Maisonneuve et Larose, 221 p. (Chap. V fertilisation p. 133-136).

PARRY G. 1982. Le cotonnier et ses produits. Paris, Maisonneuve et Larose. 502 p. (fertilisation p.101-114).

PRALORAN J.C. 1971. Les agrumes. Paris, Maisonneuve et Larose, 565 p. (chap. XI et chap. III p. 329-376).

PY C., LACOEUILHE J.J., TEISSON C. 1984. L'ananas, sa culture, ses produits. Paris. Maisonneuve et Larose, ACCT, 562 p. (chap. II, 6, fertilisation p. 313-332).

ROUANET G. 1984. Le maïs. Paris, Maisonneuve et Larose, ACCT, 142 p. (le sol et sa fertilisation p. 47-60).

SILVESTRE P., ARRAUDEAU M. 1983. Le manioc. Paris, Maisonneuve et Larose, ACCT, 262 p. (fertilisation p. 87-98).

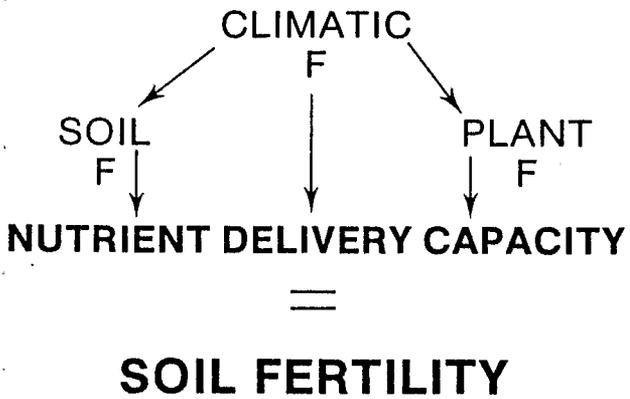
SURRE Ch. ZILLER R. 1963. Le palmier à huile. Paris, Maisonneuve et Larose, 243 p. (nutrition minérale et fumure p. 121-129).

SLIDES
PRESENTATION

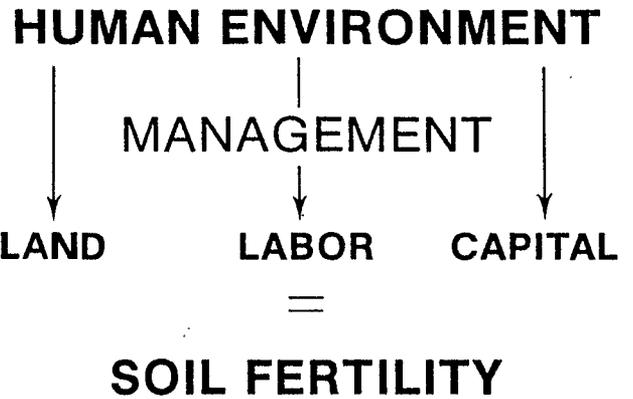
SOIL FERTILITY & CROPS FERTILIZATION in the Tropics :

The french capability

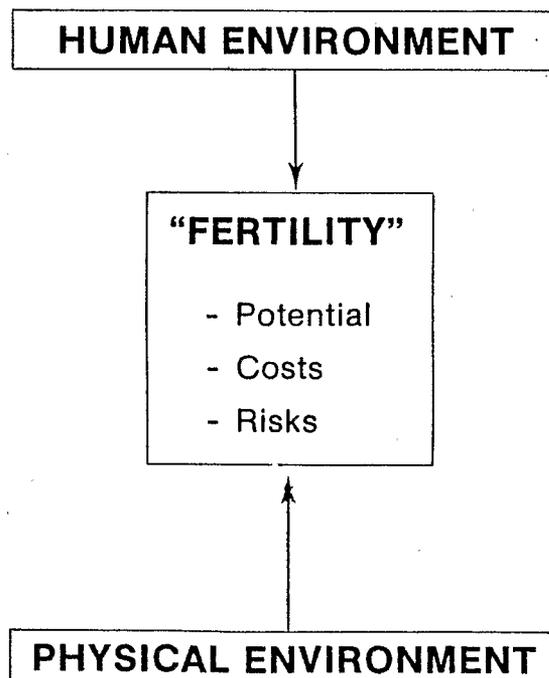
PHYSICAL ENVIRONMENT



SOIL FERTILITY ? SOIL CHEMICAL CHARACTERISTICS



LAND RESOURCE ASSESSMENT :



7

**PUBLICATION
OF
FINDINGS**

**A 3 STEP
METHODOLOGY**

**1) LAND RESOURCES
ASSESSMENT**

- Diagnostic of the main constraints
- Zoning

2) FIELD EXPERIMENTS

ON

SOILS IMPROVEMENT

AND CROP

NUTRIENT REQUIREMENTS

3) FERT. RECOMMENDATIONS :

- CONTROL OF CROP NUTRIENT STATUS
- SUSTAINABILITY

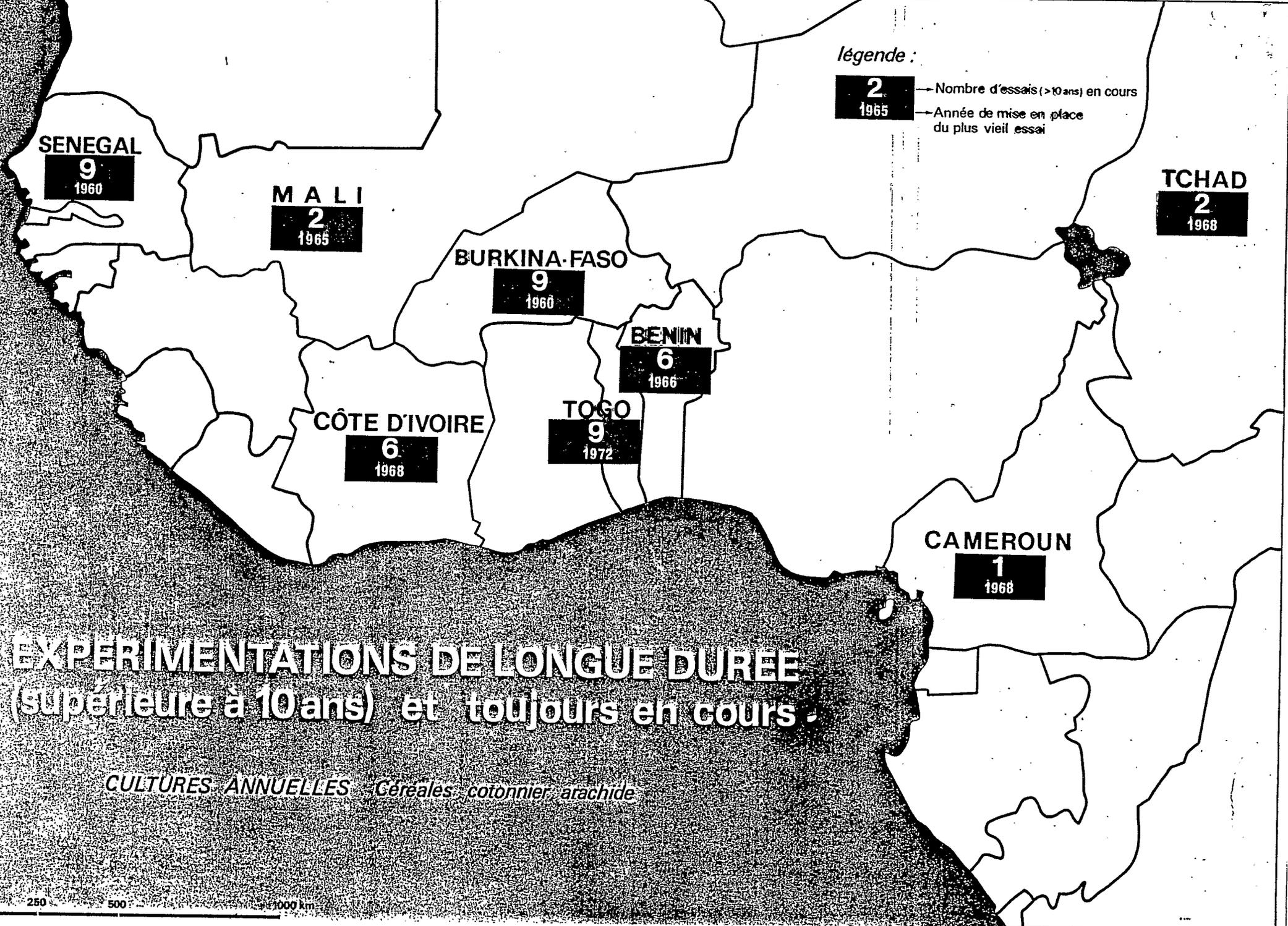
8

2 PRIMARY & EQUALLY IMPORTANT SOURCES OF INFORMATION:

- 1) LONG TERM INTERNATIONAL EXPERIMENTATION
(10-26 YRS)
- 2) INVOLVEMENT AT PRACTICAL LEVEL IN
COMMERCIAL PRODUCTION

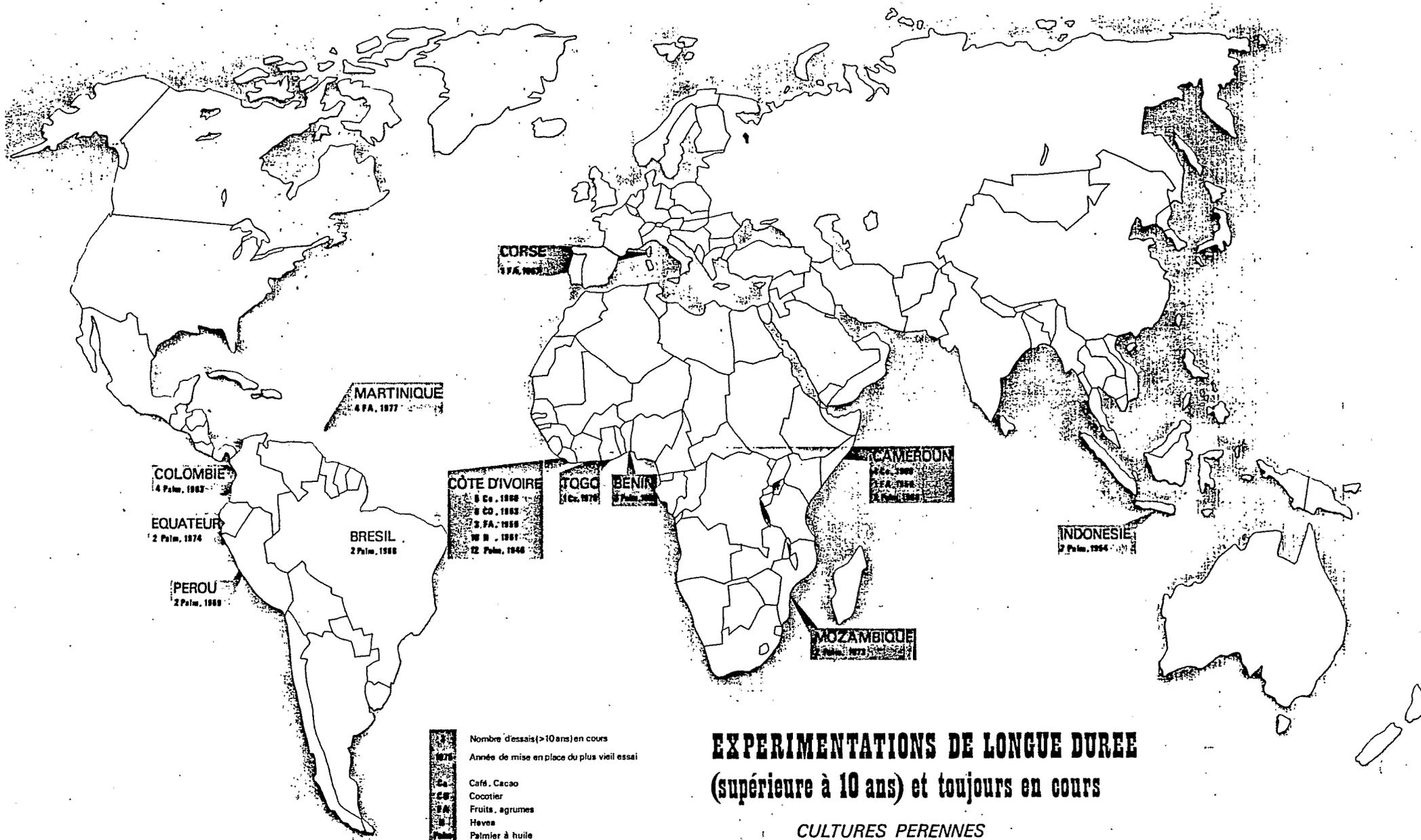
légende :

- 2** → Nombre d'essais (>10 ans) en cours
- 1965** → Année de mise en place du plus vieil essai



EXPERIMENTATIONS DE LONGUE DUREE (supérieure à 10 ans) et toujours en cours.

CULTURES ANNUELLES : Céréales, cotonnier, arachide



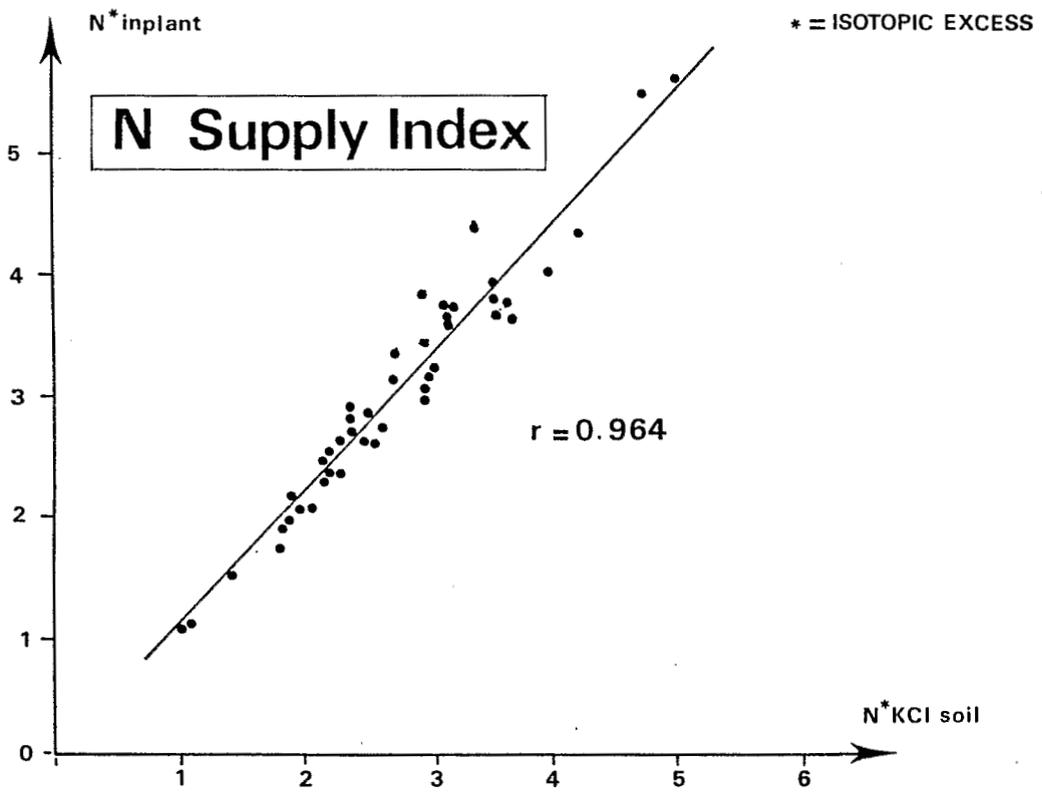
EXPERIMENTATIONS DE LONGUE DUREE
 (supérieure à 10 ans) et toujours en cours

CULTURES PERENNES

PHYSICAL CONSTRAINTS

- 1) TOP LAYER HARDENING
- 2) LOW-MEDIUM POROSITY
- 3) LOW PERMEABILITY
- 4) COMPACTION-SEALING

CHEMICAL CONSTRAINTS



FOR A BETTER ASSESSMENT OF NUTRIENT REQUIREMENTS

- 1) CROP PHYSIOLOGY AND CROP BEHAVIOR
- 2) FARMERS' PRACTICES & EFFECTS OF USE ON N.R.

FERTILIZATION AND WATER BALANCE REGIME

INTERANNUAL RAIN AND YIELD FLUCTUATIONS

(Pear millet, Bambey, Senegal 1973-1977)

	RAIN FALL	GRAIN YIELD		KG/HA
	mm	Control	NP	NPK
\bar{X}	452	1278	2246	2515
σ	84	265	261	67
cv	19 %	21 %	12 %	3 %

N = 90 kg/ha N (Urea + A.S.)

K = 90 kg/ha K₂O (KCl)

P = 45 kg/ha P₂O₅ (TSP)

FOLIAGE DIAGNOSIS

(1/50 ha)

+

ANNUAL REF. EXPERI.^N

(1/5.000 ha)

=

RELEVANT FERTILIZERS

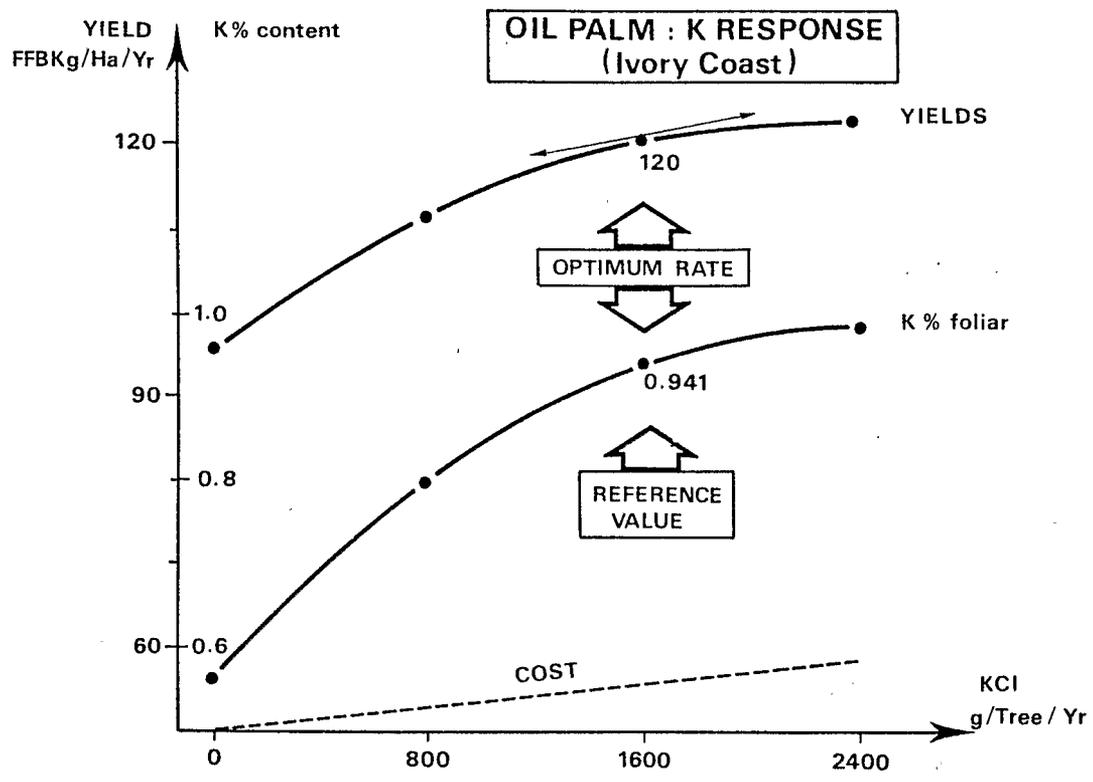
RECOMM.^{NS} IN OIL PALM PLANT.

Cl DEFICIENCY

(Ivory Coast)

Oil Palm copra kg/Tree

	NaCl	Na ₂ SO ₄
O	12,2	8,1
KCl	24,2	15,5



TOTAL COSTS FOR OIL PALM FERT.^B RECOM.^{NS} EQUIVALENT TO 20 kg FFB/Ha/Yr

FOR OTHERS CROPS FOLIAGE DIAGNOSIS IS MOSTLY USED AS AN ADJUSTMENT TOOL

LIME REQUIREMENT FOR SOYA

(Madagascar, soil pH = 4.3)

DOLOMITE T/HA	YIELD T/HA
Broadcasted	
0	1309
1	1524
2	2290
Banded	
0,130	1690
Seedcoating	
0,030	2354

**CROP INTENSITY
AND
SOIL DEGRADATION**

SOIL EROSION

BRAZIL **WEST AFRICA**

TEXTURE	C.S	S.C ₁
O.M. %	2.0	0.7
PERMEABILITY mm/hr	50-400	15-25

4 PROCESSES :

- 1) SOIL STRUCT. DETERIOR.^N
- 2) EROSION
- 3) O.M. & N NEGATIVE BALANCE
- 4) ACIDIFICATION + UNBALANCED NUTRIENT STATUS

Caruaru **Linoghin**

Rainfall mm	709	800
R (USA)	260	310
K	0.10	0.15
Slope %	12	1,5
SOIL LOSS T/HA	7.4	3.7
RUN-OFF mm	43,6	165,3

MINERALIZATION OF O.M.

Senegal
(Sandy soil, millet + groundnut)

	1973	1977
C %	2.1	1.6
N %	0.18	0.14
CEC mé/100 g	1.2	0.9

MORE THAN POVERTY

LAND FRAGILITY

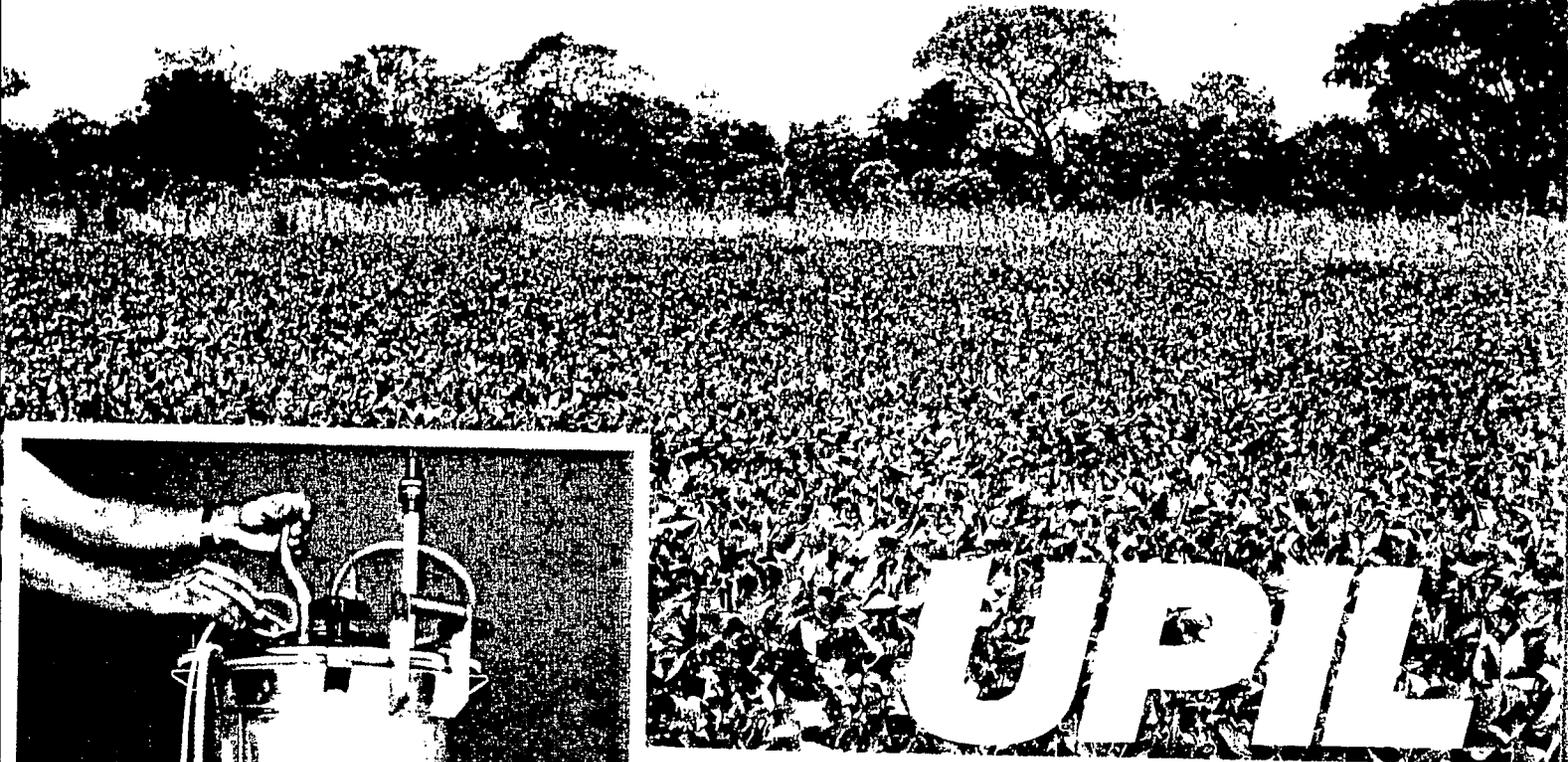
IS

A MAJOR CONSTRAINT FOR A
SUSTAINABLE AGRICULTURE

Your legume inoculant production unit

Simple
Robust
Reliable

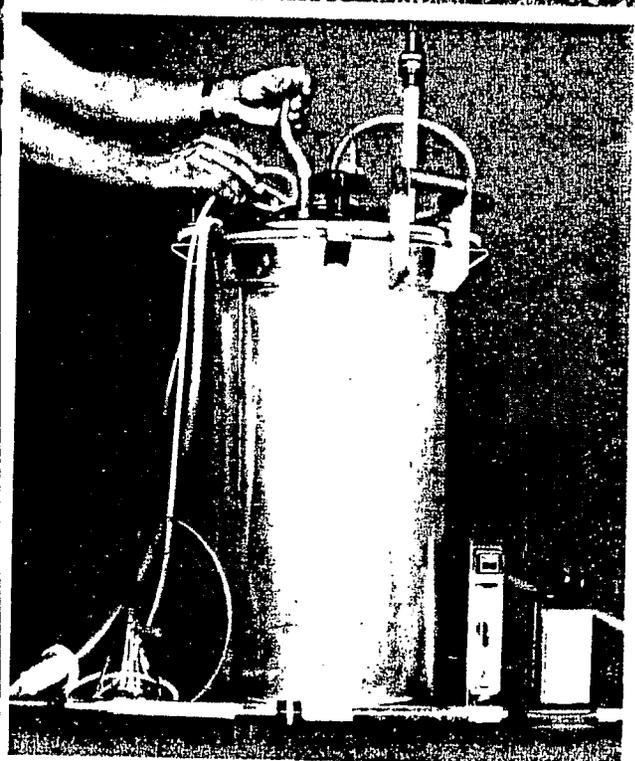
*Especially designed
for difficult environments*



UPIIL

Unité de Production d'Inoculum pour légumineuses
IRAT / CIRAD

Liste des pays où des UPIIL sont utilisés (1986)



U P I I L		
<u>P A Y S</u>	Date d'installation	Nombre x capacité
BANGLADESH	1984	1 x 30 l
BHUTAN	1985	1 x 30 l
BRESIL	1985	1 x 50 l
BURUNDI	1985	1 x 30 l
COLOMBIE	1986	2 x 50 l
AUTRICHE-AIEA	1985	2 x 30 l
KENYA	1985	1 x 50 l
MADAGASCAR	1984	1 x 50 l 2 x 30 l
MOZAMBIQUE	1983	1 x 30 l
PHILIPPINES	1983	2 x 30 l
RWANDA	1983	1 x 30 l
TANZANIE	1986	1 x 30 l
TURQUIE	fin 1986	3 x 50 l 2 x 30 l
VIETNAM	1985	1 x 50 l
ZAIRE	1984	1 x 30 l

FERT.^N RESEARCH
CONTINUES TO BE
COMMODITY-ORIENTED
FOR
PERENNIAL CROPS

RESEARCH ON
ANNUAL CROPS FERT.^N
& LAND CHANGES ASSESS^T
IS
FARMING SYSTEMS-ORIENTED

french capability :

- 1) A KNOWLEDGE OF PEOPLE
& LANDS IN TROP. ENVIRON^{TS}

- 2) A FRAMEWORK FOR
RELEVANT REGIONAL &
INTERNATIONAL
R. NETWORKS

PRIORITIES OF RESEARCH

IMPROVEMENT AND MAINTENANCE OF

1) SOIL PHYSICAL PROPERTIES

2) O.M. STATUS IN SOILS

IMPROVEMENT OF

3) METHODS OF PLANT
NUTRIENT CONTROL

4) FERTILIZER EFFICIENCY =
(nutrient - water)balance

5) ENHANCEMENT OF BNF,
and m. of "biological fertility"

6) RHIZOSPHERIC ACTIVITY IN
EXTREME ENVIRON.^{TS}

7) NEW FERTILIZERS