

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE - MER

CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

SECTION DE PEDOLOGIE

PROJET DE PROGRAMME
D'ETUDES D'EVOLUTION DES SOLS
EN REPUBLIQUE DU TCHAD

par P. AUDRY
Chargé de Recherches ORSTOM.

Septembre 1963-

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE - MER

CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

SECTION DE PEDOLOGIE

PROJET POUR UN PROGRAMME

D'ETUDE DES RELATIONS ENTRE LA DYNAMIQUE DE TROIS TYPES
GENETIQUES DE SOLS (faiblement ferrallitique, ferrugineux
tropical lessivé à taches et concrétions, ferrugineux tro-
pical peu lessivé) ET LEURS CONDITIONS D'EVOLUTION
ACTUELLES, EN COMPARANT CONDITIONS NATURELLES ET CONDITIONS
PARTICULIERES CREEES PAR DEUX TYPES D'EXPLOITATION AGRICOLE
(coton et arachide)

P. A U D R Y

- AVANT PROPOS -

Depuis 1960, la Section de Pédologie du C.R.T. poursuit des études d'évolution des sols sous culture dans 5 fermes coto-nnières (Déli, Ba Illi, Moussafoyo, Youé, Békao), une ferme rizic-ole (Boumo) et une ferme arachidière (Dilbini), dépendant du Service de l'Agriculture.

Jusqu'à présent, l'étude a consisté à suivre l'effet sur certains caractères physico-chimiques des sols, des techniques d'exploitation expérimentées par les services de l'Agriculture : effets des différentes cultures d'un assolement donné et de diffé-rentes fumures. La technique d'étude consistait à faire réaliser des prélèvements superficiels périodiques et à étudier les varia-tions en fonction du temps des caractères suivants = C,N, C/N, humus, pH et depuis l'an dernier stabilité structurale.

Pour les seules fermes cotonnières, l'assolement pratiqué est quinquennal, avec 4 fumures différentes en tête d'assolement, soit 20 parcelles à étudier dans chaque ferme et sur un type de sol déterminé en principe.

Etant donné la dispersion géographique des fermes et les difficultés pratiques qui en résultent, il est apparu nécessaire en premier lieu de concentrer les études en un nombre de points réduit.

x

x x

Les fermes de DELI, BA ILLI et DILBINI ont été retenues pour y poursuivre ces études. Ce choix n'a évidemment pas été arbitraire. A DELI, avec une pluviométrie annuelle moyenne de 1100 mm on observe des sols faiblement Ferrallitiques; au BA ILLI, ferme cotonnière comme la précédente, la pluviométrie est de 900 mm en-viron et les sols sont du type Ferrugineux Tropicaux lessivés à tâches et concrétions; à DILBINI, ferme arachidière, la pluviométrie

.../...

est de 650 mm environ et les sols sont du type Ferrugineux Tropical peu lessivé. Tous ces sols sont formés sur sables ou sables argileux, donc sur matériaux comparables. Ils représentent en quelque sorte un échantillon de la zonalité des sols en fonction du gradient pluviométrique; par ailleurs ils correspondent à des modes d'utilisation différents propres à chacune des zones considérées.

Ces conditions naturelles sont donc particulièrement intéressantes, et constituent un support idéal pour un élargissement des études que permet la concentration géographique des points retenus. Tel est l'objet du programme présenté ici, conçu dans le sens d'une étude élargie, comparative et compréhensive de l'évolution des sols dans chacune de ces zones climatiques en mettant l'accent sur les relations entre la dynamique des sols et leurs conditions d'évolution, conditions naturelles d'une part, conditions particulières créées par l'exploitation d'autre part.

Ce programme comporterait trois points d'études principaux : régime hydrique des sols, matières organiques, caractéristiques physico-chimiques.

X
X X

Aperçu général du programme proposé .

- Dans chacune des fermes considérées, reconnaissance détaillée du terrain pour le choix des emplacements à étudier avec caractérisation morphologique, analytique et classification des types de sols étudiés. Cette caractérisation serait la plus complète possible et comporterait au point de vue analytique : chimie, physique et microbiologie. Toutes ces déterminations seraient effectuées dans un autre laboratoire que FORT-LAMY - en l'occurrence BONDY - pour servir de base et de référence. En plus on procéderait à la détermination sur le terrain de certaines caractéristiques hydrodynamiques.

- Pour chacun des types de sols ainsi définis, étude comparée du sol sous végétation naturelle considéré comme en équilibre et soumis à ses conditions naturelles d'évolution et du sol cultivé considéré comme soumis à une rupture d'équilibre et à des conditions particulières d'évolution dues à l'exploitation. Un autre cas de rupture d'équilibre à envisager également est celui du sol nu pour les compléments d'information qu'on risque d'en retirer.

- Dans chacun de ces trois cas, analyse comparée des conditions d'évolution des sols et de leur dynamique comprenant :

- étude de leur régime hydrique saisonnier sur plusieurs années, avec essai de détermination de leur bilan hydrique en relation avec les conditions climatiques (P) et les conditions locales (topographie, culture, végétation)

Pour préciser de façon plus complète le pédoclimat en fonction du climat général, mesure de température sous abri météo et de température dans le sol.

.../...

- étude du cycle des matières organiques avec tentative de bilan général à savoir : essai d'estimation des apports sous conditions naturelles et sous culture et analyse de leur évolution -
- dynamique de certains éléments minéraux caractérisant tant les processus évolutifs des sols que leur niveau de fertilité.
- essai de synthèse sur le cycle évolutif de ces sols, relations avec le profil pédologique en conditions naturelles et le profil cultural des sols cultivés.

Difficultés pratiques pour une telle réalisation.

Ces difficultés sont certaines et sont dues tant au fait de la dispersion géographique des points d'étude que du programme lui-même qui nécessite des observations et prélèvements précis, et nombreux dans l'espace et dans le temps.

Il faut prévoir en particulier :

- des agents à poste fixe dans chaque ferme, pour effectuer les prélèvements et mesures courants, agents qu'on ne peut concevoir que recrutés localement.
- dans ce cas, les consignes de leur travail de terrain doivent être simples et très précises; il faut en effet tenir compte de leur compétence obligatoirement très limitée et leur laisser pour cela le minimum d'initiative pour éviter des risques d'erreurs sinon de négligence; par ailleurs leur travail doit être prévu assez systématique et rigoureux pour permettre d'obtenir tous les éléments attendus avec une certitude de qualité suffisante.
- des visites régulières par le pédologue et des agents techniques ORSTOM mis au courant; d'une part à titre de contrôle, d'autre part pour effectuer des observations complémentaires plus délicates, telles des observations de profil cultural par exemple -

Dans ce projet de programme, il faut donc tenir compte de tous ces éléments et aller jusqu'à prévoir certains détails pratiques pour être sûr qu'il est bien réalisable.

Esprit du programme proposé.

Un tel programme apparaît assez considérable et nécessite donc la mise en oeuvre de moyens importants. Ce double caractère amène à considérer que deux points précis doivent présider à l'esprit de son établissement :

- il est indispensable que ce programme soit suffisamment au point et que les objectifs recherchés soient étudiés avec des observations, des mesures et des méthodes dont la plus grande partie soient ou bien déjà éprouvées, ou bien évidemment sûres de conduire à des données indiscutables. Par ailleurs, le plan d'interprétation doit être déjà prévu pour une partie de ces données afin d'être sûr d'avoir un minimum de résultats.

C'est ce que dans l'exposé du programme j'appellerai études principales, qui constituent la charpente du projet.

Dans le même ordre d'idées, on doit rechercher le maximum de sécurité par des recoupements de méthodes et résultats chaque fois que possible.

- étant donné les moyens importants à mettre à oeuvre, il conviendra de les utiliser pleinement, et pour cela il semble indispensable d'envisager toute une série d'observations, de mesures, voir de prélèvements et d'analyses supplémentaires qui - sans augmentation sensible de dépenses - risquent de donner des éléments ou des précisions très intéressantes, mais ne constituent que des essais.
- C'est ce que j'appellerai études annexes. (Les recoupements peuvent évidemment entrer dans l'une ou l'autre catégorie).

Plan de l'exposé

- I. Consistance des études prévues - Méthodes et principaux résultats attendus.
 - A - Dynamique et bilan de l'eau -
 - B - Evolution des matières organiques -
 - C - Caractéristiques physico-chimiques des sols -
 - D - Esquisse d'interprétation générale -
 - E - Le problème des prélèvements -

 - II. Réalisation technique, pratique et matérielle des différents points du programme.
 - A - Localisation et nombre de points d'études par ferme - Nécessité d'une limitation précise -
 - B - Données générales sur l'implantation projetée, le fonctionnement et l'organisation du travail.
 - C - Récapitulation du nombre d'analyses pour l'ensemble du programme.
 - D - Données récapitulatives principales pour estimer le coût de l'opération.

 - III. Remarques diverses finales.
-

1. CONSISTANCE DES ETUDES PREVUES.
METHODES ET PRINCIPAUX RESULTATS ATTENDUS.

A . DYNAMIQUE ET BILAN DE L'EAU.

I. Etude principale = dynamique de l'eau et régime hydrique.

II. Méthode - Mesures. La méthode proposée est celle de l'étude de l'évolution en détail des profils hydriques tout au long de l'année, par la technique simple des carottages avec mesures d'humidités et définition des caractéristiques hydriques à différentes profondeurs du sol.

Les nombreux cas où cette méthode a été utilisée avec succès, dont le cas de CHARREAU à BAMBEY pour les sols tropicaux, outre les études d'HALLAIRE, constituent une garantie.

Au point de vue profondeur des prélèvements et fréquence, on peut raisonnablement prévoir :

- pour chaque profil hydrique complet = 10 prélèvements sur les tranches suivantes :

0-5; 5-10; 10-20; 20-40; 40-60; 60-80; 80-100; 100-140; 140-180; 180-220;

La répartition inégale des tranches étudiées sur l'ensemble de l'épaisseur considérée répond au souci de serrer les phénomènes en surface où les variations sont les plus importantes.

La profondeur totale étudiée sera égale à la profondeur du sol si bien que le chiffre de 10 prélèvements est un nombre moyen qui sera sans doute augmenté en sol ferrallitique et diminué en sol ferrugineux tropical peu lessivé.

- pour la fréquence, CHARREAU à BAMBEY relevait ses profils hydriques toutes les semaines en saison des pluies, puis en période de dessèchement, d'abord tous les quinze jours et ensuite tous les mois.

Toujours pour tenir compte des variations importantes, rapides et fréquentes en surface, on peut penser augmenter la fréquence en surface et au contraire la diminuer en profondeur, au moins en pleine saison des pluies.

En fonction de quoi, la périodicité suivante est proposée :

- début de la saison des pluies : période d'humectation : tous les 5 jours profil complet.
- pleine saison des pluies : période supposée de drainage : tous les 5 jours en surface, tous les 15 jours profil complet.
- après les pluies = période de dessèchement : profil complet tous les 15 jours, puis tous les mois.

Les mesures effectuées sur les différents échantillons seront évidemment et de façon systématique les déterminations d'humidité totale; au début du travail au moins, mesures fréquentes des caractéristiques pF/ humidité aux différentes profondeurs. Ces dernières mesures ayant un double but = déterminer l'état du sol caractérisé par son humidité au point de vue potentiel capillaire et déterminer les variations dans l'espace de ces caractéristiques du sol et la marge de précision à retenir pour interpréter l'ensemble des résultats en fonction de l'hétérogénéité du sol. Une fois ces objectifs atteints, de telles mesures pF/ humidité ne seraient plus faites que sur un nombre restreint d'échantillons pris au hasard, à titre de recoupement et vérification.

I2 - Résultats et interprétation.

L'étude de l'évolution des profils hydriques doit conduire à déterminer les phases d'humectation, de saturation et d'assèchement des sols, soit leur régime hydrique saisonnier avec le rythme et la durée de chacune des phases.

Pour aborder la détermination du bilan hydrique des sols et de leur drainage, il est nécessaire de prévoir une autre série de mesures. En effet, si l'évolution des profils hydriques permet dans certains cas de calculer des débits, il ne peuvent suffire à définir le bilan qui doit être considéré à partir de la formule.

$$P = R + E + S + D$$

P : précipitations = mesurées.

R : ruissellement = à mesurer.

E : Evaporation (sol nu) ou évapotranspiration (sol couvert) à déterminer.

S : Stock du sol = mesuré par les profils hydriques.

D : Drainage = inconnue.

La mesure directe du drainage au moyen de cuves lysimétriques serait évidemment une solution idéale, mais qui est écartée pour son prix de revient élevé et son caractère d'installation à très longue échéance.

2 - Autres mesures pour une "estimation" du bilan hydrique et drainage.

Si on considère la formule posée, on peut facilement mesurer le ruissellement et le stock d'eau est connu. Par contre, le terme E est difficilement accessible; toutefois, on peut tenter une estimation du bilan et du drainage en se basant sur les considérations suivantes :

- En période où le sol est à saturation, le drainage est possible à l'exclusion de toute autre période; mais dans ces conditions hydriques, on peut faire l'approximation $E = \text{Evapotranspiration potentielle ETP}$, d'où le drainage en remplaçant E par ETP (mesure ou calcul) dans la formule.
- en dehors de cet état du sol, pas de drainage possible et on doit normalement avoir $E < ETP$ avec $D=0$ dans la formule, inégalité à vérifier par les mesures.

21 - Mesure de ruissellement.

La localisation des points d'étude sera partout sur pente faible, mais sur pente.

Le problème de la mesure du ruissellement est le suivant : si on fait une parcelle d'érosion classique, la valeur du ruissellement mesurée n'est pas obligatoirement significative pour estimer la fraction ruissellée d'un bilan hydrique sur une surface donnée d'une pente ouverte à l'amont, c'est à dire en plein champ; en effet en ce point il y a également apport de l'amont par ruissellement dont une partie non connue peut s'infiltrer.

Pour pallier à cet inconvénient, le moyen le plus simple est de se placer, pour l'étude, dans les conditions mêmes de la parcelle d'érosion, c'est à dire disposer une garde sur toute la partie amont de la surface d'étude et en aval, un collecteur correspondant à une largeur donnée, pour mesurer le ruissellement. Cette solution présente deux inconvénients mais qui sont mineurs devant ceux de la solution précédente.

- pour un point situé à l'aval de la parcelle d'étude le raisonnement appliqué plus haut peut être fait, si bien que le terme R du bilan peut être différent entre l'amont et l'aval de la pente. Toutefois avec des pentes faibles et assez courtes, cette erreur pourrait entrer dans l'erreur totale faite sur la mesure de R . Le phénomène pourrait d'ailleurs être précisé en faisant une parcelle d'érosion sur la même pente mais de longueur différente.
- cette solution a également l'inconvénient de perturber les conditions locales réelles, mais sur pente faible, on peut estimer que l'étude reste représentative du milieu général malgré la garde en amont.

22 - Mesure de l'évapotranspiration potentielle (et de l'évaporation pour le sol nu).

Vu l'importance de ce terme pour l'estimation du bilan, il est préférable de le mesurer plutôt que de le calculer à l'aide de formules connues à cet effet.

Le matériel utilisé serait des évapotranspiromètres type Thornthwaite, c'est à dire une cuve de 4m² de surface dans laquelle on maintient une nappe d'eau à profondeur constante par arrosage journalier de volume donné; en mesurant l'excès d'eau, on connaît l'ETP journalière par différence.

Ce dispositif pourrait être monté en collaboration avec Ch. RIOU Bioclimatologue ORSTOM à Fort-Lamy qui en a déjà installé et fait ailleurs des mesures de ce type.

Les cuves de Thornthwaite sont également utilisables pour mesurer l'évaporation du sol nu, mais il faut alors maintenir le plan d'eau très proche de la surface et les mesures correspondent à des conditions qui ne sont réalisées naturellement que pendant le ressuyage du sol après les pluies et ne peuvent donc convenir au but recherché. Il faut alors prévoir dans ce cas une autre méthode. VERNET a mis au point une méthode pour mesurer l'évaporation réelle sur sol nu qui pourrait être essayée. Je ne possède pas la documentation suffisante pour exposer en détail cette méthode mais il est certain qu'elle est simple à mettre en oeuvre.

La partie interprétation physique, bioclimatologique et ajustement aux formules connues qui serait susceptible sans doute de faire suite à ces mesures pourrait également être réservée à RIOU; les résultats se bornant pour nous à la connaissance de l'ETP pour le problème considéré et l'interprétation se limitant aux côtés agronomique et pédologique.

3 - Etudes annexes - Essais -

Outre la mesure directe du drainage, un des avantages des lysimètres est de permettre de recueillir les eaux de drainage et de les analyser d'où la possibilité de déterminer les mouvements et migrations des éléments fertilisants et d'éléments caractéristiques de la pédogenèse.

Ce genre d'étude est extrêmement intéressant; s'il entre en partie dans le chapitre chimie, il est étroitement lié au régime hydrique et sera donc considéré ici.

A défaut de lysimètres, on peut envisager une approche indirecte et analytique des phénomènes. Pour cela, on peut faire les considérations préalables suivantes :

En ce qui concerne les éléments fertilisant du moins les plus mobiles, on peut tenter de préciser leur dynamique par les analyses courantes chimiques et par l'étude des matières organiques, vu leur mobilité, et vu aussi les quantités relativement importantes mises en jeu et dont une grande partie du cycle passe par la végétation. Le problème des mouvements du fer est tout différent parce que cet élément est moins mobile et que les sols étant évolués et en équilibre, les quantités mises en jeu sur des distances notables sont pour le moins très faibles. Or ce sont ces mouvements qui constituent un processus pédogénétique essentiel dont

l'expression morphologique résultante permet de caractériser les sols considérés au niveau les plus élevés de la classe et de la sous-classe. On peut penser toutefois que si les mouvements du fer sont inaccessibles à l'analyse, la succession saisonnière des différents états et formes du fer dans le profil est représentative de l'évolution pédogénétique du sol.

Pour ce cas du fer, on sait qu'il migre sous sa forme réduite Fe^{++} complexée avec des matières organiques (BETRE-MIEUX), la formation de ces complexes dans les conditions naturelles mettant en jeu des processus microbiologiques; les mouvements ne sont possibles qu'en milieu réduit et il y a précipitation lors de la réoxydation du milieu. C'est une des raisons pour lesquelles les extractions et analyses classiques sur terre préalablement séchée et donc réoxydée, ne peuvent être que conventionnelles. D'où l'idée que si on veut atteindre les formes pouvant migrer on doit se référer soit à la terre humide soit aux solutions du sol.

Partant de là, on peut proposer un schéma comme le suivant :

Prélèvement de terre humide ou saturée; conservation sans dessiccation dans du coton humide. Partage au labo en 3 fractions.

- une fraction pesée est soumise sans dessiccation à l'analyse par voie aqueuse sans oxydation avant séparation des éléments considérés.
 - une fraction pesée est soumise à dessiccation; détermination de l'humidité totale; puis analyse identique
- Comparaison des résultats rapportés à la terre sèche entre les deux opérations.
- La troisième fraction sert à faire une pâte saturée dont on recueille l'extrait de saturation. Mêmes analyses. Comparaison -

Précisons tout de suite que ce schéma correspond à une idée de recherche et non pas à une méthode proposée; en particulier, le côté de sa réalisation du strict point de vue chimie (spécialement séparation sans oxydation) risque de poser des problèmes insurmontables.

Les analyses les plus intéressantes correspondraient à des dosages du type fer libre et des dosages comme ceux plus intéressants des différents complexes fer - Humus récemment proposés par Duchauffour (1963.)

De toute façon, de telles méthodes ne manqueraient pas de rester conventionnelles, mais on peut les considérer comme des tests et si -appliquées et utilisées en tant que tels et dans des conditions analogues - elles donnaient des différences significatives entre les trois types pédogénétiques de sols considérés (sous végétation naturelle), ce serait déjà un résultat extrêmement intéressant.

B - EVOLUTION DES MATIERES ORGANIQUES.

L'étude des matières organiques est intéressante à deux points de vue :

- c'est une caractéristique génétique des sols
- c'est une des caractéristiques des sols la plus directement affectée par l'exploitation et la plus susceptible d'exprimer la dégradation des sols par la culture.

L'étude de l'évolution saisonnière et pluriannuelle des matières organiques par la seule mesure périodique de C, N, C/N, humus est souvent décevante. Par ailleurs, il est incertain, coûteux et matériellement difficile d'envisager des études biochimiques détaillées qui sont de la compétence de chercheurs et de laboratoires spécialisés.

En fonction du but recherché : mettre en évidence des différences entre des types pédogénétiques bien définis et pour chacun de ces types, comparer le sol sous végétation naturelle et le sol cultivé, la méthode simple du fractionnement des matières organiques par densité (Hénin et Turc) paraît intéressante pour en analyser l'évolution et la dynamique saisonnière et pluriannuelle.

1. Etude principale : dynamique des matières organiques -

II. Méthode = analyses sur des prélèvements de sols -

- Détermination périodique des fractions lourdes et légères de Hénin (A et B) et détermination de C et N sur chaque fraction.

- Prélèvements : profondeur et périodicité:

- surface : - litière et débris sur une surface donnée

- 0 - 10 cm

Tous les quinze jours en saison d'activité biologique et tous les mois en pleine saison sèche.

- profondeur : = 30-50 environ, à préciser en fonction des profils des sols.

Tous les mois.

I2. Résultats et interprétation.

- Tracé des courbes de variation de A et B en fonction du temps dans les cas suivants :

- sol sous végétation naturelle

- sol dénudé

- sol cultivé - sans fumure organique.

- avec fumures organiques.

- Etude des variations des caractéristiques C, N, C/N, de ces fractions tout au long du cycle.

- Les renseignements attendus seront tirés de la comparaison des courbes dans ces différents cas et pour les cas analogues entre les différentes zones climatiques.

soit : - durée, rythme et intensité des différentes phases du cycle évolutif.
 - influence de l'exploitation et de la fumure sur ce cycle et l'évolution du stock organique des sols.

En principe, on peut également attendre de ces résultats des données générales sur les phénomènes d'humification et de minéralisation, mais de façon globale (évolution du rapport B/A) En principe, pour analyser ces problèmes il faut en effet essayer de définir le bilan organique des sols et ses caractéristiques.

2. Approche du bilan - Mesures complémentaires - (étude annexe)

Tout essai de bilan consiste à considérer l'évolution de l'apport de matière organique fraîche correspondant à une unité de temps donnée. La difficulté réside précisément dans l'estimation de cet apport. Il est simple seulement dans le cas des cultures (et des fumures).

2I. Quelques schémas possibles d'interprétation de bilan.

211 - Hénin et Dupuis (1945) expriment par une formule simple que la variation du stock d'Humus dB pendant un temps dt correspond à l'augmentation due à l'humification de l'apport pendant ce temps, moins la quantité d'humus minéralisé :

$$\text{soit : } \frac{dB}{dt} = K_1 m - K_2 B$$

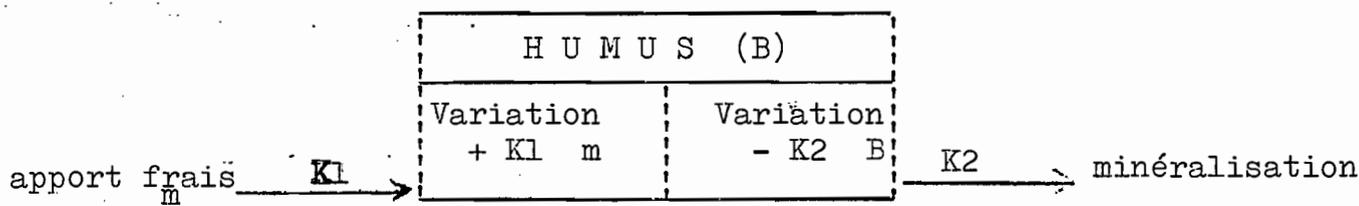
K1 : coefficient isohumique = fraction de l'apport frais transformé en humus.

m : apport de MO fraîche annuel (l'unité de temps est l'année)

K2 : coefficient de destruction de l'humus

B : teneur initiale en humus.

Ceci correspond au schéma.



- à l'équilibre et l'unité de temps considérée étant l'année.

$$\frac{dB}{dt} = 0 \text{ et } K1 m = K2 B \text{ soit } B : \frac{K1}{K2} m$$

K1 et K2 étant des caractéristiques de la dynamique des MO dans le sol dont on peut connaître le rapport si on connaît m.

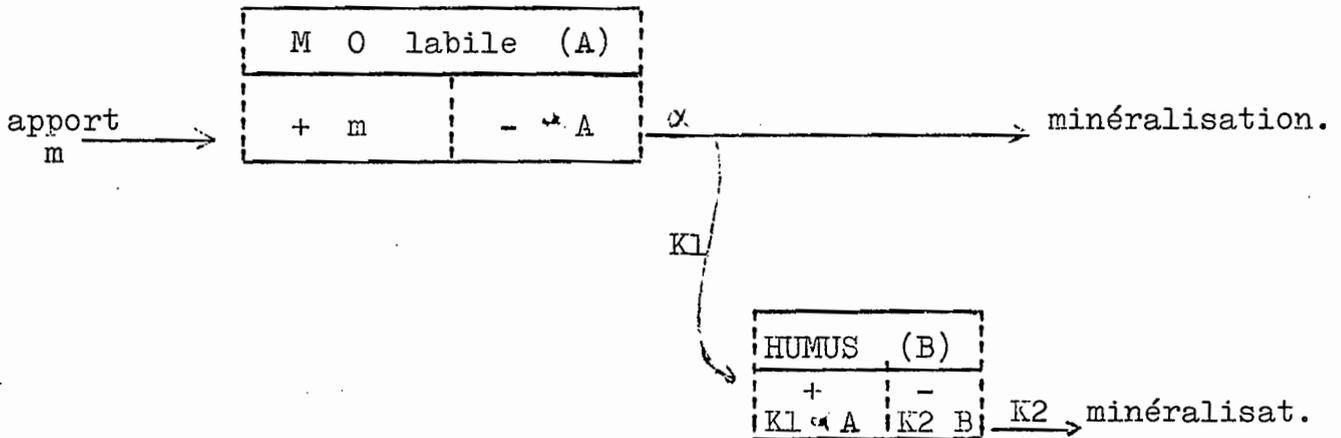
- sous culture (déséquilibre), on peut assez facilement mesurer m; dans la formule $\frac{dB}{dt} = K1 m - K2 B$,

B est mesuré périodiquement donc on connaît B et dB. K1 correspondant d'après sa définition à la fraction de l'apport frais transformé en humus, se déduit facilement, en dehors de tout nouvel apport, des mesures de A sur les prélèvements périodiques. On peut donc suivre tout au long de l'année les valeurs K1 et K2.

- sur sol dénudé : m = 0 et $\frac{dB}{dt} = - K2 B$, d'où une

valeur de K2 qu'on peut comparer à celle obtenue sous culture et préciser l'effet de la dénudation sur la disparition de l'humus.

2I2. Hénin en collaboration avec Monnier et Turc (I949) a ensuite proposé d'exprimer le bilan organique des sols à l'équilibre par un système de deux formules appliqué au schéma :



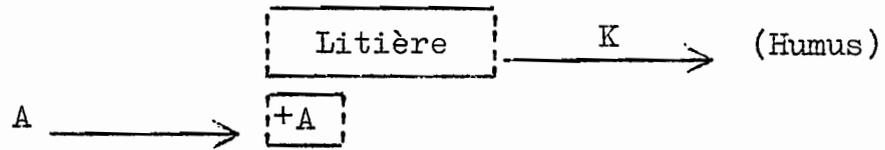
$$(I) \frac{dA}{dt} = m - *A$$

A = matière organique labile contenue dans le sol.

m = apport annuel .

* = paramètre de destruction englobant minéralisation et humification.

conforme au schéma :



En fait toutes ces formules tendent à exprimer le même phénomène en définissant des coefficients différents mais analogues, à l'aide de schémas commodes et simplifiés.

Pour comparer des sols entre eux, les uns et les autres doivent être essayés.

Dans tous les cas il y a nécessité de connaître l'apport de matière organique fraîche dans l'intervalle de temps considéré

22. Mesure de l'apport organique m.

221. Ses difficultés -

- Dans le cas particulier d'une fumure organique, la mesure est immédiate.
- Dans le cas d'une culture annuelle, on évalue facilement les résidus aériens de culture enfouis et on peut mesurer également l'apport racinaire par dégagement à l'eau.

Ces cas ont déjà été considérés comme résolus à propos des formules d'Hénin.

Le problème est le même dans le cas de l'enfouissement d'une jachère d'un an.

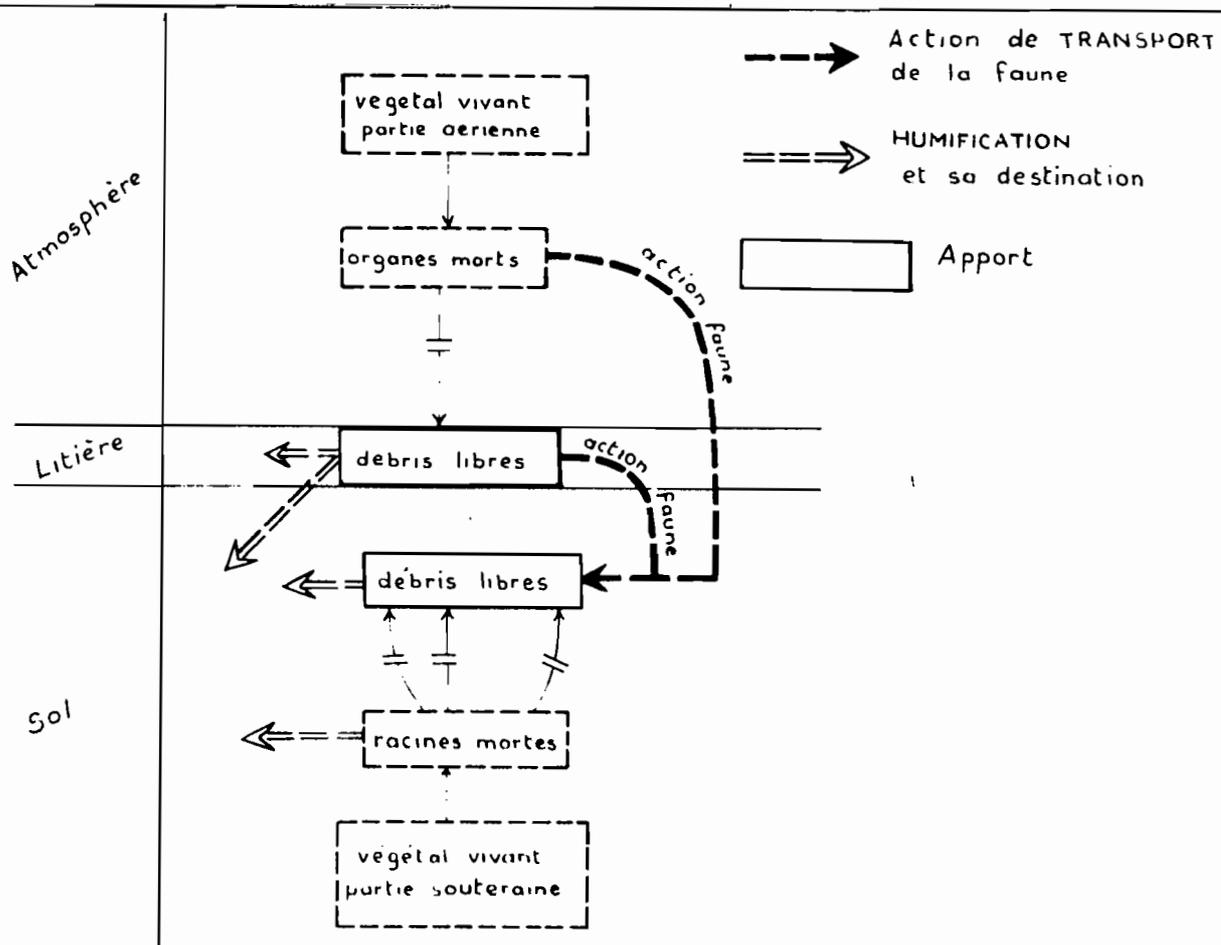
- Dans le cas d'une jachère de 2 ans ou plus, la détermination serait simple si la jachère était uniquement composée d'herbacées annuelles. Mais avec des vivaces, les déterminations de masse végétale totale ne donnent que l'accroissement brut de production = accroissement net + masse résiduelle provenant des années précédentes - fraction détruite de cette masse au temps considéré. Et encore on néglige ici le renouvellement permanent en saison d'activité de certains éléments (fines radicelles par exemple) .
- En fait les jachères comportent généralement une strate herbacée faite d'un mélange annuelles - vivaces et une strate ligneuse arbustive; en plus, sous végétation naturelle, il y a une strate arborée qui peut prendre une grande importance.

Pour la strate arborée, l'apport aérien allant à la litière est facile à recueillir. Au contraire, l'apport souterrain est difficilement accessible. Les

grosses racines étant disposées de façon très discontinue ne peuvent entrer dans l'étude et devront être considérées comme des accidents locaux avec élimination des prélèvements de sols qui en contiendraient. Les racines fines des strates ligneuses seront donc seule retenues et l'estimation de l'apport correspondant pose à peu près les mêmes problèmes que pour la strate herbacée vivace.

222. Complexité du schéma d'évolution et de mouvement des matières organiques dans le sol.

On peut proposer le schéma suivant concernant l'origine et les mouvements des fractions végétales organisées:



- Pour les parties vivantes = augmentation (+) par croissance du végétal et renouvellement d'organes fonctionnels.
diminution (-) par passage à l'état mort.

- Pour les débris proprement dits :
 - apport de la végétation (+) =
 - passage à l'état mort.
 - Transport par la faune du sol(+)
 - humification (-)

- Pour l'humus on aurait:
 - augmentation par humification (+)
 - augmentation dans un horizon du sol (+) par les apports de lessivage issus de la litière ou des horizons supérieurs
 - diminution par minéralisation (-)
 - par lessivage.(-)

223. Méthode proposée pour estimer m et approcher le bilan - cas des jachères pluriannuelles et de la végétation naturelle.

a - Litière -

Les apports participant à la constitution de la litière se composent.

- d'apports par gravité issus principalement des strates ligneuses et des parties dressées des strates herbacées. Il est facile de recueillir sur une surface donnée et sur un tamis nylon placé au dessus de la strate herbacée la fraction m₁, issue de la strate ligneuse.
- d'apports sans transport notable issus des parties basses des strates herbacées. La totalité des apports issus de la strate herbacée échapperont au tamis nylon, soit m₂.

on possède les données suivantes :

- à chaque prélèvement de litière, on obtient la fraction légère A = partie non humifiée de m₁ + m₂
- les variations de m₁ sont connues -
- m₂ est issue des fractions mortes et détachées des strates herbacées.

Pour une détermination approchée de m₂, on peut faire les considérations suivantes :

- par coupe des strates herbacées on peut connaître la masse totale végétale = mortes + vivantes.
- on supposera qu'à partir du démarrage de l'activité végétative au moment de la saison des pluies, toute cette masse considérée va être constituée :
 - d'une fraction morte qui va n'être soumise qu'à des variations négatives dues à la séparation du végétal de ces parties et constituant les apports m₂.
 - d'une fraction vivante qui va n'être soumise qu'à des variations positives dues à la croissance du végétal.

En d'autres termes on néglige tout ce qui pourrait mourir en saison d'activité végétative.

- Par coupes successives avec tri à la main des parties mortes et vivantes on peut donc définir :
 - une courbe de croissance végétale sur les parties vivantes.
 - une courbe de diminution des parties mortes correspondant à la courbe d'augmentation des apports m_2 cherchés.
- Après flétrissement des végétaux en début de saison sèche, on ne peut plus distinguer parties mortes et parties vivantes en sommeil. Mais si on pose alors que la croissance est nulle, les apports correspondent à la décroissance de la masse herbacée totale facilement mesurable par coupes.

Connaissant ainsi les variations de $m = m_1 + m_2$ et de A partie non humifiée de m, (*) on pourra calculer les coefficients de décomposition en négligeant les apports de la faune issus des strates non herbacées et en englobant dans (humification + minéralisation) les exportations dues à cette faune.

On pourra également calculer K_1/K_2 de Hénin en englobant dans le coefficient K_2 le lessivage et la minéralisation de l'humus, K_2 étant ainsi coefficient de "disparition" de l'humus.

On pourra calculer ces coefficients sur des saisons précises et leur valeur moyenne annuelle et obtenir des renseignements sur les variations d'intensité des différents phénomènes au cours du cycle.

b - Horizons du sol. Dans les sols considérés, les horizons superficiels sont humifères et non pas organiques, mais on ne doit pourtant pas à priori négliger systématiquement l'apport du système racinaire.

Comme donnée mesurée, on possède A mesuré sur prélèvement de sol = somme des organes vivants + organes morts (différents de la fraction A de Hénin), dont les variations sont la somme algébrique des variations dues à la croissance végétale, aux apports de la faune et à l'humification + minéralisation.

On utilisera une technique et une théorie analogues à celles proposées pour la litière, mais appliquées ici aux racines de toutes les strates et en considérant dans ce cas comme entrant dans l'évolution des MO toute fraction végétale morte, rattachée ou non au végétal.

(*) Sur ce point un problème reste non résolu: la détermination totale A étant physique, s'applique à la totalité des fractions organiques de toutes tailles tandis que la détermination par coupes des fractions mortes et vivantes étant visuelle n'est que macroscopique et il y aura sans doute des corrections à faire pour que les données soient comparables.

On négligera les augmentations de la masse morte dues à la faune et ceux dus au renouvellement d'organes souterrains au cours de la période végétative.

On peut mesurer après démarrage végétatif au moment de la saison des pluies la masse végétale morte initiale M_0 et la masse végétale vivante initiale V_0 , contenues dans l'horizon; puis on peut suivre les variations de M et V en fonction du temps par mesures directes; en fait ayant à tous moments $M + V = A$, égalité à vérifier et ajuster compte tenu de la remarque en renvoi page précédente, on ne mesurera que $V =$ masse rattachée au végétal et vivante d'où on tirera $M = A - V$.

- Compte tenu des hypothèses de départ, les courbes $V(t)$ et $M(t)$ en fonction du temps seront respectivement les courbes de croissance de la partie vivante et la courbe de décroissance de la partie morte = courbe de décomposition du stock initial M_0 -
- à partir du flétrissement des végétaux on considèrera la croissance nulle et on continuera de tracer la courbe de décomposition des matières organiques en mesurant les variations de $A(t)$.
- Cette courbe permettra en définitive de calculer une vitesse et un taux de décomposition des matières organiques saisonniers et moyens annuels.
- Sur ces mêmes bases, on peut étudier l'évolution de B conformément au schéma d'Hénin avec $m = M_0$, en intégrant le lessivage dans les variations saisonnières de B et dans les coefficients correspondants.

Remarques : Observations et mesures complémentaires.

- 1) Des observations de profils pédologiques et de profils culturaux préciserait le terme croissance et pourraient donner des idées sur les termes négligés comme les transports par la faune;
 - 2) Les dégagements de racines étant des opérations longues et délicates, on pourrait tenter de relier développement aérien et développement souterrain pour réduire le nombre de ces opérations qui de toutes façons ne se feraient qu'une fois par mois au maximum.
 - 3) On peut également envisager d'utiliser des colorants vitaux pour marquer les éléments vivants contenus dans les prélèvements de terre, la technique ultérieure restant à mettre au point.
23. En conclusion l'estimation du bilan des matières organiques présente de grandes difficultés, dans le cas de la végétation naturelle en particulier. On ne doit pas en attendre de données chiffrées très précises - ni en ce qui concerne la précision proprement dite des chiffres, ni en ce qui concerne la signification des coefficients et vitesses de décomposition qui restent synthétiques et englobent en général différents processus (ex : $A \longrightarrow$ minéralisation + humification).

Malgré celà et malgré les aléas de certains points de la méthode proposée, on peut penser que les différences entre type pédogénétiques sont assez grandes pour obtenir des données significativement différentes dans chaque cas, et l'intérêt du problème est suffisant pour faire envisager cet essai.

Enfin pour toute cette partie, le programme est tout à fait provisoire; j'attends beaucoup de la suite de ma bibliographie encore très réduite et du contact avec des botanistes, forestiers et agrostologues tel M. Mosnier (Agrostologue à l'IEM/PT), qui travaille précisément lui aussi sur ces fermes.

Toutes les questions d'échantillonnage sur les prélèvements de végétation restent en particulier à préciser.

3. Etude du stockage de divers éléments minéraux dans la végétation.

C'est une donnée de base pour préciser la dynamique et le bilan minéral des sols sous végétation naturelle, et les effets de la mise en culture et de la jachère, permettant de porter un jugement sur l'assolement.

- La méthode est simple = analyse des éléments N,P,K, Ca, Mg dans des échantillons de masse végétale à divers stades végétatifs.
- Le programme précis reste à mettre au point, mais pour des raisons pratiques (les analyses ne pourraient être faites qu'à BONDY dans l'état actuel des choses) et aussi parce que cette immobilisation des éléments minéraux est un phénomène lent, les prélèvements seraient peu fréquents; comme ordre de grandeur on peut prévoir 2 à 3 fois par an.
- Sous végétation naturelle = méthode des forestiers pour estimer la masse totale ligneuse, son accroissement annuel et pour effectuer les prélèvements. Retour au sol estimé par la mesure de l'apport (cf: paragraphe précédent).
- Sous jachère et pour la strate herbacée de la végétation naturelle : méthodes des botanistes et agrostologues appliquées aux mêmes problèmes. Même remarque pour le retour au sol.
- sous culture = estimation du stockage respectif dans les récoltes (exportations) et dans les résidus de culture faisant retour au sol.
- au stade de l'interprétation, on peut attendre au niveau de la synthèse avec les résultats de l'étude chimique (voir plus loin paragraphe C :
 - rôle des diverses strates de la végétation naturelle sur la dynamique et le bilan des éléments minéraux. Données sur leur cycle naturel.

- perturbations apportées à ce cycle par la culture :

- Exportations
- rôle des cultures - sans fumure
 - avec fumure
- rôle de la jachère
- conclusion sur l'assolement.

4. Relation entre l'évolution des matières organiques et la microbiologie des sols -

Cette relation est suffisamment évidente pour se passer d'en démontrer l'intérêt de l'étude - Toutefois il serait disproportionné par rapport à nos moyens et possibilités d'envisager un chapitre d'étude microbiologique très important; aussi voilà comment on peut envisager le programme sous ce point de vue.

- Au départ caractérisation microbiologique des types pédogénétiques de sols.
De telles caractérisations effectuées par Y. Dommergues au Sénégal en ont suffisamment montré l'intérêt, pour être incluses dans l'étude préalable des sols.

La même caractérisation pourrait être faite sur les sols en équilibre avec la végétation naturelle et sur les sols cultivés depuis un certain temps.

Ne disposant pas de laboratoire de microbiologie des sols à FORT-LAMY et aucun pédologue de Fort-Lamy ne possédant de compétence particulière dans ce domaine, cette caractérisation pourrait être demandée précisément à Y. Dommergues en conservant avec lui des relations pour la suite du travail, concernant en particulier les points suivants:

- Cette première caractérisation ne représente qu'un instantané de la microflore des sols et de son activité. Pour aborder l'aspect dynamique saisonnier, il pourrait nous conseiller sur les prélèvements à effectuer et proposer les déterminations les plus aptes à compléter le programme envisagé.
- A la suite des premiers résultats, il pourrait également nous indiquer ce qu'on peut attendre des techniques microbiologiques pour confirmer ou infirmer certaines hypothèses et orienter le travail.

C - CARACTERISTIQUES PHYSICO CHIMIQUES DES SOLS.

C'est la suite des études effectuées jusqu'ici dans les fermes de l'Agriculture. Les principales modifications proposées consistent dans la comparaison systématique entre sol sous végétation naturelle et sol cultivé (le sol nu apparaît ici plus accessoire et pourrait n'être étudié que pendant un ou deux cycles seulement), et dans l'étude de ces caractéristiques sur plusieurs horizons des profils et non seulement en surface. Enfin des observations de profil cultural complèteraient ces données.

1. Etude analytique.

- Poursuite de l'étude de l'évolution des facteurs suivants:
C - N - C/N - Humus - recourent avec l'étude de l'évolution des matières organiques.

pH, stabilité structurale.

- En plus : étude de l'évolution du complexe absorbant du rapport N minéral/N total. du P205 total et assimilable.
- Profondeur et fréquence des prélèvements :

0 - 10 cm : tous les quinze jours pendant la première année et ensuite d'après les résultats obtenus, on peut espérer définir une fréquence moindre.

30 - 50 cm ou de cet ordre - Profondeurs à définir en fonction des profils des sols.

une profondeur > 1 mètre - Prélèvements tous les mois.

- Analyses complémentaires :

pour mémoire :

- analyses de Fe libre et Fe total.
- analyses des différents complexes Humus - Fer
- analyses de C et N sur les fractions lourdes et légères des MO.

2. Etude complémentaire : Profil cultural.

Les observations de profil cultural devraient normalement conduire à des précisions sur l'évolution de caractères physiques difficilement accessibles à l'analyse et sur les effets des techniques d'exploitation, qu'il s'agisse de façons culturales ou de fumures.

En outre, ils devraient également permettre une première approche directe de synthèse entre les différents objets de l'étude particulièrement par l'observation en place du système racinaire dont le développement, la croissance et la répartition réagissent en même temps aux conditions hydriques et physico chimiques. Dans cette optique un certain nombre d'observations de profils pédologiques seraient effectué parallèlement à celles des profils culturaux.

D - ESQUISSE D'INTERPRETATION GENERALE.

Sans pouvoir aller dans le détail, on peut déjà envisager les grands titres d'une interprétation synthétique.

Conditions et facteurs d'évolution naturels des sols comparés à la dynamique de leur profil

- Régime hydriques comparés des trois types pédogénétiques étudiés.
- Essai de définition pour ces trois cas des pédoclimats (P,t) relations avec le climat atmosphérique.
- Etude comparative du facteur végétation considéré sous l'aspect de son action directe : apport de Matière organique fraîche.
- Etude comparative des qualités et quantités des matières organiques ; mise en relation de ces caractéristiques des sols et leur microbiologie avec les facteurs végétation et climat.
- Evolution cyclique comparée des formes et des états des hydroxydes dans le profil ; données sur des processus fondamentaux comme le lessivage ; relation avec les facteurs et conditions d'évolution définis plus haut ; rôle des matières organiques.
- Dynamique, cycle et bilan minéral dans le profil = Résultante de lessivage, cycle organique, érosion ; rôle des matières organiques dans ce bilan dans chacun des cas.
- mise en relation des processus définis, de l'évolution des MO et du cycle minéral avec la différenciation et la morphologie des profils pédologiques.
- définition de la fertilité potentielle de chacun des sols en fonction de tous ces éléments.

Etude des systèmes d'exploitation et de leurs effets sur les sols

Tous les résultats relatifs au sol cultivé et au sol nu serviront par la méthode comparative à préciser les points considérés au paragraphe précédent ; par exemple régime hydrique, facteur végétation. A ce titre, leur étude partielle est déjà contenue dans ce paragraphe mais dans la présentation générale il faut bien schématiser. Les principaux titres retenus ici au chapitre exploitation seraient donc :

Effets des différentes cultures de l'assolement et leur mode l'action sur le sol.

- Effet sur le bilan de l'eau.
- perturbation du cycle des matières organiques : différence des apports ; effet des exportations des cultures ; effets sur l'évolution proprement dite et sur la microflore.

- Effet sur le bilan minéral.
- Synthèse de ces résultats au niveau du profil cultural : comparaison du profil cultural et du profil pédologique.
- Conclusion sur l'assolement : effet propre des cultures; rendements; dégradation des sols; effet des jachères et leur rôle "regradant". Conservation des sols et de leur fertilité.

Effets des différentes fumures minérales et organiques; leur mode d'action.

- Effet sur les bilans organique et minéral.
- Rôle dans l'augmentation de la production; rendements; maintien de la fertilité.

E - LE PROBLEME DES PRELEVEMENTS .

C'est plus qu'un simple problème technique; il y a lieu de le considérer ici sous les aspects : fréquence, profondeurs, échantillonnage.

- I. Fréquences: la détermination de la fréquence optima des prélèvements à réaliser pour une étude donnée ne peut être atteinte qu'expérimentalement. Deux solutions sont alors possibles : ou bien travailler pendant au moins une saison sur ce simple problème de méthode, ce qui suppose déjà un nombre important d'analyses, ou bien prévoir un programme avec une fréquence de prélèvements maxima et la réduire ensuite en fonction des premiers résultats. C'est cette solution qui a été adoptée, sans doute pas plus coûteuse que la première, et qui peut faire paraître parfois à priori excessives les fréquences proposées.
2. Profondeurs des prélèvements : Elles doivent être assez nombreuses si on veut effectivement approcher la dynamique des phénomènes sur le profil. Les profondeurs proposées dans ce qui précède ne sont que provisoires et seront arrêtées définitivement après observations sur le terrain, en fonction des considérations suivantes :
 - elles doivent représenter des horizons pédologiques et donc ne pas recouper de limites d'horizons.
 - pour la surface et sur le sol cultivé, elles ne doivent pas recouper la limite de profondeur de travail des principales façons culturales et en particulier labour et enfouissement de matières organiques. Par ailleurs, pour la surface et sur sols cultivés ou non, étant donné que certains facteurs varient rapidement avec la profondeur, il faut retenir une profondeur assez faible. Cet

impératif s'accorde avec le précédent, mais en fonction même de la variation rapide des facteurs en surface et vu la limite de précision sur l'épaisseur prélevée, il semble qu'on doive se limiter à une épaisseur pas trop faible tout de même. En l'occurrence, la profondeur 0- 10 cm semble bonne, étant inférieure par ailleurs à la profondeur du labour. Il semble en particulier illusoire de chercher à atteindre systématiquement par l'analyse l'effet de façons superficielles comme les binages qu'on cherchera plutôt à préciser au cours d'observations de profils culturaux.

Nota - Le choix d'une fréquence plus élevée pour les prélèvements superficiels repose sur l'hypothèse très vraisemblable des variations plus rapides dans le temps en surface, en fonction des variations du pédoclimat, elles-même supposées plus rapides en surface qu'en profondeur.

3. Echantillonnage - surface d'étude et hétérogénéité de cette surface

Les études d'échantillonnage consultées (Martin- Dugain), montrent que le prélèvement doit correspondre à l'échantillonnage d'un nombre de prises assez grand dont est fonction la "précision du prélèvement."

D'autre part le prélèvement perturbe la zone environnante pour les prélèvements à venir. Ainsi pour les profils hydriques il semble bon de ne pas en prévoir plus d'un par m² de terrain. En toute logique et d'après l'esprit du travail on doit se fixer la même densité pour les prélèvements chimiques. L'étude étant prévue durer plusieurs années, et si l'échantillonnage est réalisé en 25 prises, cela fait une surface de 25 m² rendue inutilisable pour chaque prélèvement, et conduit à des surfaces d'étude assez considérables. Il se pose alors le problème de l'hétérogénéité de cette surface.

Un élément peut permettre de réduire cette surface en ce qui concerne les sols cultivés : après chaque labour on peut réutiliser la surface affectée par un prélèvement superficiel et seulement superficiel effectué avant le labour.

Concernant l'hétérogénéité du terrain, le but de l'échantillonnage au hasard est précisément d'en atténuer l'effet, l'analyse chimique de l'échantillon homogénéisé donnant tout de suite la moyenne des prises avec une précision fonction de l'hétérogénéité. La technique des prélèvements à adopter est en fait fonction de l'échelle ou taille de l'hétérogénéité. En effet si les différences entre deux prises distantes de moins d'un mètre sont représentatives de l'hétérogénéité totale de la surface, on peut imaginer un mode de prélèvement plus économique pour la surface totale, comme le suivant :

- chaque prélèvement serait réalisé en 5 fois 5 prises réparties au centre et aux sommets d'un carré de 0,43 m de côté. Le chiffre de 0,43 correspond à une répartition homogène sur une parcelle de 10 x 10 m, de 49 carrés de prélèvements régulièrement répartis et distants d'1 m dans les deux directions perpendiculaires parallèles aux côtés de la parcelle, (cf schéma ci-contre)

- Les 5 petits carrés de prélèvements seraient tirés au hasard sur un plan d'ensemble du terrain.

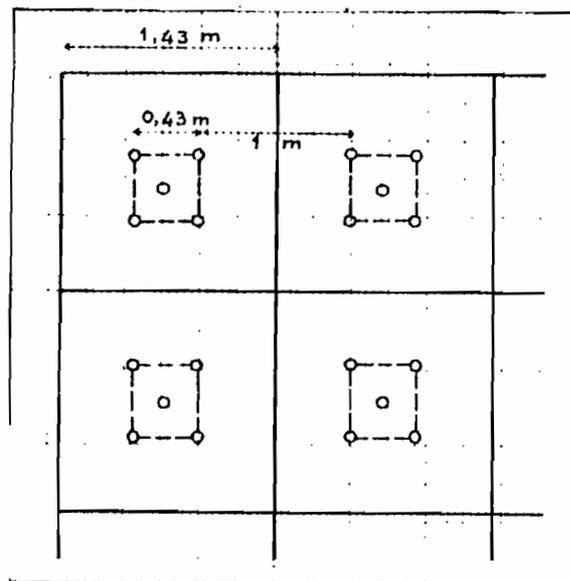
- Avec cette méthode, 5 prises affectent une surface totale de $1,43 \times 1,43 = 2,04 \text{ m}^2$ soit $0,40 \text{ m}^2/\text{prélèvements}$ au lieu de 1 m^2

L'étude de cette technique de prélèvement est en cours à la ferme de Déli, avec étude systématique de l'hétérogénéité d'un terrain donné.

Précisons tout de suite qu'au moment de la mise en place des surfaces d'étude dans les trois fermes, une série de prélèvements pour l'étude de l'hétérogénéité du terrain devra être faite dans chaque cas, de même qu'en cours d'étude des mesures périodiques de la plus petite différence significative interprétable afférant au mode de prélèvement retenu.

Enfin, en fonction de toute ces considérations et d'impératifs techniques, le chiffre de 25 prises par prélèvement semble être le maximum à retenir dans le compromis nombre de prises - précision / surface - hétérogénéité. Ceci apparaîtra plus nettement après l'étude précise des surfaces à retenir aux chapitres suivants.

Pour les profils hydriques, le problème de l'hétérogénéité du terrain est analogue, mais celui de l'échantillonnage est différent si on part du principe que chaque profil hydrique constitue l'unité étudiée et qu'on ne doit pas pour cela faire un profil hydrique sur des échantillons moyens. En plus des questions de surface, il y a alors le nombre des échantillons qui se pose; en anticipant sur la suite, on ne peut guère envisager de faire plus de 2 ou 3 répétitions pour chaque profil hydrique.



II. REALISATION TECHNIQUE PRATIQUE ET MATERIELLE DES DIFFERENTS POINTS DU PROGRAMME.

A - LOCALISATION ET NOMBRE DE POINTS D'ETUDE PAR FERME - NECESSITE D'UNE LIMITATION PRECISE.

1. Nombre annuel de prélèvements et surface nécessaire pour un cas d'étude complète dans une ferme.

Pour le nombre d'échantillons relatifs aux profils hydriques nous considérons les deux cas des profils effectués soit en double soit en triple.

Pour la surface affectée, ces deux cas interviennent également; quant à la chimie nous considérons les deux cas vus précédemment : 1 prise/m² (échantillonnage I) et 5 prises sur carré de 0,43 x 0,43 (échantillonnage II.)

Au point de vue date, les prélèvements matières organiques coïncident toujours avec des prélèvements chimie d'où économie de surface. Il en est de même des profils hydriques en saison sèche qu'on fera sur les surfaces de prélèvements chimie, mais en saison humide, la fréquence des profils hydrique est plus forte et "consomment" à eux seuls de la surface.

A ce propos, si on utilise l'échantillonnage II pour la chimie avec carrés de prélèvements régulièrement disposés sur microparcelles de 10 m x 10 m, c'est une économie systématique de surface pour chimie + MO (1 prise/0,40 m²); mais un profil hydrique effectué seul sur un carré affectera 2 m² au lieu d'un si on veut garder un plan régulier des surfaces de prélèvements.

Enfin, toujours pour la surface affectée, on distinguera surface affectée jusqu'à plus de 10 cm de profondeur et surface affectée seulement jusqu'à 10 cm, estimant dans ce cas qu'on peut réutiliser la même surface après un labour.

Compte tenu de tous ces éléments, suivant que les profils hydriques coïncident ou non avec des prélèvements chimie, on peut récapituler par mois les nombres de prélèvements et les surfaces affectées.

Dans le tableau I ci-joint, le calcul a été fait pour l'année en comptant

5 mois de saison sèche
2 mois de saison intermédiaire
5 mois de saison de pluies, ce qui correspond au cas le plus défavorable de Déli et représente un calcul par excès pour les deux autres fermes.

Les résultats de ce tableau permettent de voir l'influence sur le nombre d'échantillons pour profils hydriques et la surface totale utilisée, des deux modes d'échantillonnage et de la réalisation en double ou en triple des profils hydriques.

Echantillons profils hydriques

Profils Hydrique en double	740 éch.
en triple	1110 éch.

Surface totale utilisée (m2)

	échantillonnage I	échantill. II
Profils hydrique en double	531	407
en triple	559	463

Le nombre de profils hydriques affecte évidemment les nombres de prélèvements correspondant dans le rapport 2/3, mais il faut surtout considérer qu'en valeur absolue cela correspond à 370 échantillons, c'est à dire un total déjà important.

L'emploi de l'échantillonnage II correspond à une économie de surface de 20 à 25 % par rapport à I, soit une différence en valeur absolue de l'ordre de 100 m2.

Le tableau II donne le nombre annuel d'analyses chimie et Mat. orga d'après les nombres d'échantillons du tableau I.

TABLEAU II

Nombre d'analyses.

Nombre annuel d'échant.	Fract. MO par densit.	C	N	N minéral	Humus	pH	Compl. et Bases échan.	P2 O5 Total	P2 O5 Assim.	Stabilité structure.
50 échantillons - 150 fractions	50	150	150							
0-10 19) 30-50 12) 31 1 m 12		31	31	31	31	31	31	31	31	31
Total annuel d'analys.	50	181	181	31	31	43	43	43	43	43

Nota : on a compté 3 Fractions pour chaque fractionnement de MO; en fait il faudra commencer avec systématiquement 4 ou 5 fractions, déterminer les palliers de la courbe de distribution avant de se réduire à 3 ou peut être même 2 fractions significatives.

2. Nombre de points et d'objets d'étude dans chaque ferme. Limitation

21. Types de sols - Sur chacune des fermes existent deux types de sols principaux, associés topographiquement et représentant de grandes surfaces; en plus, on observe d'autres sols peu importants quant à leur extension mais pouvant être fort intéressants du point de vue théorique = passage aux sols gris lessivés de bas - fond à Déli, solshydro-morphes au Ba Illi, tendance à des sols à alcalis à Dilbini. L'étude devant être limitée, ces derniers sols ne seront pas étudiés pour ne s'attacher qu'aux sols représentatifs de la zone climatique,

Doit-on alors retenir pour l'étude un des types de sols principaux ou considérer une toposéquence. Malgré l'intérêt de l'étude d'une toposéquence, on se limitera à un type de sol; on va voir plus loin en effet que rapporté à trois fermes et à 3 cas d'études dans chaque ferme, cela représente déjà un programme chargé.

Ce dernier objet d'étude (toposéquence) pourrait très éventuellement être retenu pour être conduit uniquement sur le sol sous végétation naturelle, si par exemple on cesse de suivre le cas du sol nu après deux ou trois ans d'étude, jugeant en avoir tiré des résultats suffisants.

22. En fonction de l'assolement -

Si on prend le cas des fermes cotonnières :

- l'assolement est de 5 ans .

- en tête d'assolement, le coton est soumis à 4 traitements fumure différents. Si on voulait suivre les 5 soles de la rotation en même temps et sur chacune des soles, l'effet direct et les effets résiduels des 4 traitements fumure, cela ferait 20 objets d'étude sous culture.

+ sol sous végétation naturelle
+ sol nu

soit 22 cas différents.

en supposant une étude de 3 ans, en prenant les systèmes d'échantillonnage les plus économiques pour la surface affectée, en réutilisant après labour la surface utilisée avant labour pour les seuls prélèvements 0-10 et compte tenu que la jachère est de 2 ans, il faudrait (cf Tableau I) :

Pour chaque objet d'étude sous culture $260 \times 2 = 520 \text{m}^2$
et pour les 20 cas = 10.000m^2

Au point de vue analyses chimiques, on aurait par an :
 $43 \times 20 = 860$ échantillons.

et en considérant les 22 cas et les 3 fermes, on aurait par an : 2838 échantillons, correspondant en particulier (tableau II) à II.946 détermination de C et N.

Ces seuls chiffres montrent qu'un tel programme est excessif. D'ailleurs, il serait probablement impossible de trouver sur chaque ferme les 20 cas considérés sous culture sur sol identique. La surface de 10.000 m² déjà considérable au point de vue hétérogénéité du sol, serait en plus dispensée, d'où des causes de très forte hétérogénéité risquant de rendre l'ensemble ininterprétable.

On peut alors proposer la solution suivante : sur chaque ferme, on prend les cas d'étude suivants :

		Régime Hyd.	Mat. orga	Chimie
sol sous végétation naturelle		x	x	x
sol nu		x	x	x
sol cultivé	sans fumure	x	x	x
	fumure orga. I		x	x
	Fumure orga. II		x	x
	Fumure minérale		x	x

Dans ces conditions, l'effet des différentes cultures est étudié successivement année par année et l'étude de l'assolement est faite en 5 ans.

- Ce système a le gros inconvenient de n'étudier chaque culture que sur une année et l'assolement que dans une succession climatique donnée, alors qu'on est toujours à la merci d'une année météo ou culturelle exceptionnelle et qu'en expérimentation agronomique, on compte couramment une durée de 5 ans pour éliminer l'action propre du facteur non contrôlé climat.

On peut toutefois se faire une idée sur le caractère normal ou exceptionnel des années successives et de l'effet des variations climatiques.

par le dépeçage détaillé des données météo
 par les rendements des cultures
 par référence aux phénomènes homologues observés sous végétation naturelle au cours de la succession des 5 années.

- Ce système par contre à l'avantage de rendre possible la réalisation pratique du programme : en se référant au chiffre déjà cité plus haut, cela conduit dans chaque ferme aux surfaces suivantes (cas le plus favorable des profils hydriques en double et de l'échantillonnage II) et compte tenu des 5 ans d'étude et des 2 ans de jachère pour le cas culture :
 sous végétation naturelle : 407 x 5 = 2.000 m²
 sol nu : idem

sous culture, total approché : 260 x 2 x 4 ~~2000~~ m²
(2 ans de jachère)
(4 traitements différents).

Ces surfaces sont déjà considérables et elles seraient augmentées de 20 à 25 % au cas où les résultats des essais d'échantillonnage en cours montreraient qu'il faut utiliser l'échantillonnage I. Vu leur importance, ces surfaces devront être choisies avec le plus grand soin et leur homogénéité testée.

Au point de vue analyses chimiques, en considérant les 3 fermes on aurait = 774 échantillons par an (et 3258 C et N). - Ces dernières années les études sur ferme représentaient de l'ordre de 600 échantillons.

B DONNEES GENERALES SUR L'IMPLANTATION PROJETEE. LE FONCTIONNEMENT ET L'ORGANISATION DU TRAVAIL.

I. Considérations complémentaires pour la surface réelle à prévoir

Avant de décider de la surface définitive à arrêter on doit tenir compte des divers éléments suivants :

- il faut prévoir une certaine surface pour implanter l'évapotranspiromètre. Avec une très large marge de sécurité, on peut réserver une microparcelle de 10 m x 10 m
- si en cours d'étude apparaissent des accidents locaux comme termitières et fourmilières, la surface affectée est rendue inutilisable et il faut prévoir tout autour une garde également non utilisée.
- sous végétation naturelle on ne prélèvera pas à proximité immédiate des arbres pour éviter les perturbations dues aux fortes racines d'où une certaine surface perdue (parallèlement, le plan des emplacements pour prélèvements successifs sera établi dans le détail.)

Vu ces remarques, il faut prendre une marge de sécurité et prévoir par exemple une surface de l'ordre de 3000 m² au lieu de 2000 m².

Les observations de profils pédologiques et de profils culturaux, les dégagements de racines, les coupes de végétation herbacée et les surfaces de récolte de la litière seront effectués sur les surfaces déjà affectées par les prélèvements afin de ne pas apporter par ces diverses opérations des perturbations pour des prélèvements ultérieurs.

2. Choix des surfaces d'étude et de leur disposition.

Le choix de la zone d'implantation sera effectué conséquemment à la reconnaissance pédologique détaillée préalable. Cette reconnaissance constitue en elle même un premier test

d'homogénéité en fonction duquel on peut déjà envisager un certain choix d'emplacement .

La forme et l'emplacement des surfaces seront déterminés alors en fonction des considérations suivantes :

- Les variations des sols considérés correspondant à des variations topographiques, les surfaces végétation naturelle, sol dénudé et culture, seront dans toute la mesure du possible placées côte à côte à un même niveau d'une pente homogène, recherchée constante dans les 3 cas pour avoir des résultats comparables relativement au ruissellement.
- Pour réduire les variations du sol le long de la pente et diminuer l'influence de ce facteur d'hétérogénéité, on prendra une faible longueur de pente, c'est à dire qu'on allongera de préférence et si possible les surfaces d'étude dans le sens des courbes de niveau. Pour la longueur sur la pente, on tiendra compte également de la formule de RAMSER relative à l'érosion hydrique.
- Une fois la délimitation effectuée, balisage systématique, partage en microparcelles de 10 m x 10 m (les dimensions seront des multiples de 10; Ex : 60 x 50, 70 x 40 ...) et test d'homogénéité entre microparcelles suivant une méthode systématique actuellement à l'essai à Déli.

3. Fonctionnement

3I. Organisation du travail de terrain confié à l'aide local.

- Seuls peuvent être confiés à l'aide local les prélèvements de sol, les lectures des appareils météo, les vidanges des dispositifs d'érosion, l'entretien général des parcelles et des mesures très simples comme la croissance des cultures par mesure de la hauteur des plants, la récolte de la litière. Même des mesures simples comme des déterminations d'humidité à l'étuve et à la balance ne peuvent lui être confiées en dehors d'un contrôle permanent. Il s'ensuit par exemple que pour ce point précis, il faut prévoir un matériel de stockage suffisant pour les prélèvements humides.
- Pour la réalisation du travail qui sera confié à cet aide il faut réduire au minimum les risques d'erreur et en conséquence prévoir :
 - un calendrier de travail journalier extrêmement précis.
 - un système de numérotation simple et précis des échantillons.
 - un matériel de prélèvement qui standardise au maximum le mode et la profondeur de prélèvement. Pour la surface, le modèle sonde Dugain dont plusieurs modifications de détails ont récemment été essayées, est parfait. Pour la profondeur on est obligé d'envisager la sonde Hélix avec repérage facile des profondeurs sur le manche.
 - un balisage commode et précis permettant de réaliser

les prélèvements sur un quadrillage prévu, en des points préalablement tirés au sort en bureau.

32. Balisage sur le terrain

Outre le balisage proprement dit, l'ensemble de la surface sera clôturé efficacement afin d'éviter toute incursion éventuelle d'animaux et toute action extérieure possible. L'aide local aura à charge de faire réaliser toutes les opérations culturales identiques à celles effectuées sur la ferme suivant le plan arrêté.

Pour le balisage intérieur, division en parcelles de 10 m x 10m et numérotage apparent et évident des parcelles. Pour réaliser les prélèvements aux points convenus sur quadrillage, il sera prévu par exemple un dispositif de clôture temporaire adaptable de façon unique sur les piquets de coin de la parcelle où doit être réalisé le prélèvement. Des repères et crochets numérotés permettront d'obtenir le point de prélèvement par recoupement de deux cordelettes tendues entre des crochets de numéros donnés. En d'autres termes repérage suivant un système de coordonnées sans équivoque possible.

33. Travail réservé au pédologue et agents techniques.

Il faut prévoir une visite mensuelle à titre de contrôle du travail permanent et du bon fonctionnement des installations. C'est au cours de ces visites que seront effectuées toutes opérations plus délicates et observations complémentaires telles que :

- coupes et récolte de production végétale aérienne et souterraine.
- observations de profils

C'est également au cours de ces visites que pourront être abordés certains points d'étude de détail, tel que le comportement du sol dans la centaine d'heure qui suit une tornade ...

C - RECAPITULATION DU NOMBRE D'ANALYSES POUR L'ENSEMBLE DU PROGRAMME
(par an)

En plus des analyses déjà mentionnées (tableau II; B-22), il faut prévoir :

- des déterminations de point de flétrissement et d'humidité équivalente = estimation forfaitaire = 20% du nombre de déterminations d'humidité.
- pour les analyses M.O. + Chimie, un nombre d'analyses supplémentaires destinées à refaire périodiquement le test statistique de la précision afférant à l'échantillonnage et celle des mesures de laboratoire.
Estimation = 40 % des analyses en plus; ce chiffre paraît énorme, mais pour un échantillonnage en 25 prises et vu l'importance de ces données, c'est un chiffre très raisonnable.

I - Profils hydriques - (en double) -

Humidités 6660
pF 1300
HE 1300

Total : 9260 déterminations

2 - Matières organiques et chimie

Fractionnements MO par densité .. 900 + 40% ... ≈ 1250
C Total 3258 + 40% ... ≈ 4500
N Total id. ≈ 4500
N minéral 558 + 40% ... ≈ 750
Humus id. ≈ 750
pH 784 ≈ 900

Complexe abondant CE)
Ca)
Mg) .. 784 + 40% ... 900 éch. 4500 dét.
Na)
K)

P2 05 Total 784 + 40% ≈ 900
P2 05 assimilable id. ≈ 900
Stabilité structurale Is) " ≈ 1800 dét.
K)

Total 20.750 déterminations
+ Analyses fraction érodée : forfait de 750 déterm.

3 - Analyses complémentaires - (estimation)

31 - Analyses de Ca, Mg, K, Na, P, N sur 150 à 200 échantillons végétaux soit de l'ordre de 1000 déterminations complémentaires.

32 - Analyses de Fe libre, Fe total, Fe-Humus de Duchauffour (à essayer) : environ 6 fois/ an sous végétation naturelle soit 6 x 3 x 3 = 54 éch., soit de l'ordre de 200 à 300 déterminations.

33 - A préciser = analyses microbiologiques.

D. DONNEES RECAPITULATIVES PRINCIPALES POUR ESTIMER LE COUT DE L'OPERATION

I. Démarrage et mise en place .

II - Besoins en matériel

3 Pluviographes (1 par ferme)
3 pluviomètres
3 Thermomètres
27 géothermomètres (3 x 3 par ferme)
3 sondes Hélix
3000 Boite aluminium conservation terre humide.
150 bouteilles plastiques (érosion)

Fabrication CRT { 18 cuves érosion (fûts essence 200 l.
aménagés).
9 Partiteurs
9 évapotranspiromètres
Sondes Dugain
piquets, matériel de balisage, peinture...

Divers = Sacs échantillons et matériel de marquage,
matériel de stockage échantillons.

Matériel de Labo.

I2 - Personnel

Reconnaissance préalable et mise en place par le pédologue.

I3 - Analyses

Caractérisation complète des sols (analyses effectuées
à BONDY)
Etude d'échantillonnage et test d'homogénéité.

2 - Fonctionnement - estimation annuelle

2I - Matériel

- Renouvellement matériel terrain consommable :
entretien des installations, sans échantillons ...
- Renouvellement matériel Labo

22 - Personnel et voyages

3 aides recrutés sur place et travaillant à plein temps
après un court stage de formation et d'essai
3 Voyages mensuels (un dans chaque ferme), pédologue ou
agent technique.

-Frais de déplacements

- Voyages; approximativement et en fonction de
l'état des pistes 12 Voyages Avion
24 Vo Route .

Ajouter travail d'interprétation du pédologue assisté en
partie par un agent technique.

III - REMARQUES DIVERSES FINALES .

Ce programme est présenté comme un projet, c'est à dire qu'il est évidemment sujet à toutes modifications qui s'imposeraient pour des raisons de tous ordres.

Même sous cette forme provisoire, il m'a paru indispensable de le rédiger :

- d'une part pour mettre mes idées en ordre et faire le point : cette première rédaction me permet ainsi de faire l'état des questions dont il faut poursuivre plus spécialement l'étude et améliorer la mise au point.
- d'autre part c'est le meilleur moyen d'en juger globalement, de se rendre compte en prévoyant certains détails qu'un tel programme est lourd mais techniquement et pratiquement réalisable et de préciser les moyens à mettre en oeuvre.
- enfin pour le transmettre à qui de droit en le soumettant à toutes critiques et suggestions.

x

x x

Sur le programme lui-même et les études envisagées, je voudrais revenir sur deux points. Les trois principaux thèmes de l'étude apparaissent également importants du point de vue théorique comme du point de vue pratique. Ils présentent par contre des difficultés de mise au point très inégales; quoiqu'il en soit, on peut estimer que les études dites principales de régime hydrique, dynamique des matières organiques et évolution des caractéristiques physico-chimiques doivent donner des résultats; pourtant sur ce dernier objet en particulier, on sait combien ce genre d'étude est souvent décevant et on doit s'attendre à une certaine proportion de déchets. On peut cependant penser que les prélèvements fréquents et la comparaison systématique du sol sous végétation naturelle et du sol cultivé augmentent les possibilités d'interprétation. Pour les études annexes, les difficultés et chances de succès sont inégales.

Le second point concerne le volume du programme et la possibilité de lui apporter des modifications en cours de réalisation. Une fois le programme arrêté et mis en place et vu les moyens mis en oeuvre, sa charpente d'ensemble doit être conservée. En fonction de la durée d'étude prévue, toute modification de méthode relative aux études principales doit permettre d'obtenir des résultats comparables avec ceux qui auront été précédemment obtenus et pouvant permettre une interprétation d'ensemble.

.../...

D'autre part ce programme apparaît énorme par le nombre de sujets abordés : on doit considérer cette présentation comme son extension possible maximum, et on peut entrevoir comme modifications probables en cours de réalisation d'être amené à abandonner un certain nombre d'objets d'étude qui s'avèraient peu intéressants; par ailleurs on doit pourtant envisager d'adjoindre des études annexes et essais pratiqués temporairement et sur des cas bien déterminés pour préciser certains phénomènes et vérifier certaines hypothèses. Mais de toutes façons et plus spécialement pour l'étude des facteurs et conditions "externes" d'évolution des sols (telle la végétation) et vu le nombre déjà très grand d'objets d'étude, on ne peut concevoir d'élargissement systématique sur ces sujets - au contraire -; de tels élargissements constitueraient d'ailleurs une déviation par rapport au but fixé à savoir l'étude de l'évolution des sols ; les sujets annexes ne devant être considérés que dans la mesure où ils jouent un rôle dans cette évolution. En bref, en cours de réalisation le programme doit se spécialiser de lui-même en fonction du but recherché.

x

x x

Pour la réalisation et l'interprétation ultérieure, voire pour la mise au point définitive du programme, j'ai déjà évoqué et envisagé un certain nombre de contacts en plus des contacts permanents et hiérarchiques à l'intérieur de l'ORSTOM : Y Dommergues pour la microbiologie, M. Mosnier, agrostologue du service de l'Elevage de Fort-Lamy, travaillant sur ces mêmes fermes. Vu la diversité des sujets abordés, il est bon d'envisager la possibilité de contacts avec d'autres chercheurs ou spécialistes intérieurs ou extérieurs à l'ORSTOM, tant sur le plan général que pour des points particuliers précis.
