

OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
D'OUTRE-MER

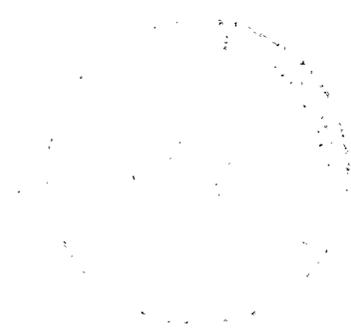
MINISTERE DE L'ECONOMIE
RURAL DU SENEGAL
DIRECTION DE L'AGRICULTURE

C. N. E. A. T. NOGENT/MARNE
1962 - 1963

RAPPORT de S T A G E
(Ingénieur des Travaux Agricoles)
par

Gabriel ARIAL-FARGEAS

Centre de Pédologie
de HANN-DAKAR
Décembre 1963



- IMPORTANCE DU FER ET DE SA MOBILITE DANS LES SOLS TROPICAUX
- COMPARIA SON DES DEUX METHODES D'ANALYSE DU FER LIBRE DEB et D'HOORE
- INTERPRETATION DES RESULTATS :

 - Etude du rapport Fer libre/Fer total dans 2 types de sols ferrugineux tropicaux et faiblement ferrallitiques.
 - Relation entre la stabilité structurale et le fer libre.

—

CRDO - DAKAR
date 23/10/89
n° 7268 cote DEP

ARI

A V A N T P R O P O S

Avant le retour de congé de Mademoiselle Ch. THOMANN, mes journées ayant été particulièrement chargées et n'ayant pas pu avoir très tôt tous les éléments nécessaires il m'a été presque impossible de commencer mon rapport avant d'avoir terminé mes analyses et d'avoir été relayé dans les fonctions de responsable du Laboratoire de Physico-Chimie de HANN.

Aussi, je prie la direction du C.N.E.A.T. Monsieur le Directeur et tout le personnel enseignant de trouver ici toutes mes excuses pour le retard mis par mon rapport et mes sincères remerciements pour l'enseignement fructueux qu'ils ont eu à me prodiguer.

Ma vive reconnaissance va également à Monsieur le Ministre de l'enseignement technique et de la formation des cadres et à ses collaborateurs, à Monsieur le Ministre de l'Economie Rurale et à tous ses collaborateurs, à Monsieur le Directeur de l'Agriculture du Sénégal pour l'aide morale et matérielle que j'ai eu l'honneur de recevoir d'eux pendant mon séjour au C.N.E.A.T.

Je prie en particulier Monsieur le Directeur Général de l'O.R.S.T.O.M. Monsieur le Secrétaire Général de l'O.R.S.T.O.M. et tout son personnel, Monsieur le Professeur G.AUBERT, Monsieur R.CATY et tout le personnel du C.S.T. de BONDY de trouver ici toute ma gratitude pour tout ce qu'ils ont pu faire pour moi afin de faciliter mon séjour en France et m'encourager dans mes études.

Je ne saurai oublier de remercier très sincèrement Monsieur R.FAUCK Directeur du Centre de Pédologie de HANN et Monsieur Cl. MOUREAUX pour l'aide matérielle et des conseils qu'ils n'ont pas négligé de me donner.

A Monsieur B.KALOGA, à Mademoiselle Ch.THOMANN et à Monsieur S.PEREIRA-BARRETO, je demande de trouver ici ma profonde gratitude pour les directives et les conseils qu'ils n'ont pas cessé de me prodiguer. Grâce à eux et à mes anciens professeurs, j'ai pu commencer sans difficultés la rédaction de ce rapport.

Mes vifs remerciements vont également à Madame G.RAULT, à tout le personnel du Centre de Pédologie de HANN et particulièrement à mes collègues du Laboratoire de Physico-Chimie qui m'ont largement aidé dans le déroulement de mon travail.

A tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près, je dis très sincèrement
Merci.

P L A N

I.- I N T R O D U C T I O N : Le fer dans le sol.

1°/- I M P O R T A N C E D U F E R .

1-1 Rôle physiologique

1-2 Rôle dans la dynamique.

a/- Sols à hydroxydes individualisés et à matières organiques rapidement décomposés.

b/- Sols hydromorphes

2°/- D Y N A M I Q U E S .

2-1 Individualisation - Solubilisation

a/- Rôle de la matière organique
Résidus végétaux.

a-1/Expériences de LOSSAINT et de BLOOMFIELD

a-2/ " de BETREMIEUX.

b/- Rôle des micro-organismes

c/- Rôle de la silice.

2-2 Migration

a/- Milieu favorable

2-3 Accumulation

a/- Principaux facteurs.

a-1/Oxydation.

Drainage - Milieu favorable

a-2/Décomplexation.

b/ Principaux mécanismes d'accumulation

b-1/Accumulation absolue

b-2/Accumulation relative.

2-4 Induration.

2-5 C O N C L U S I O N .

II.- COMPARAISON DE DEUX METHODES D'ANALYSE DU FER LIBRE - DEB et D'HOORE SUR
2 TYPES DE SOLS. (Ferrugineux tropicaux et faiblement ferrallitiques).

- 1°/- DESCRIPTION METHODE DEB
- 2°/- DESCRIPTION METHODE D'HOORE
- 3°/- TABLEAUX DES RESULTATS ANALYTIQUES
- 4°/- COMPARAISON STATISTIQUE
- 5°/- REPRODUCTIBILITE.

III.- INTERPRETATION DES RESULTATS.

- 1°/- FER TOTAL
 - 1-1 Description de la méthode
 - 1-2 Résultats analytiques
- 2°/- RAPPORT FER LIBRE/FER TOTAL
 - 2-1 Dans les sols ferrugineux tropicaux
 - 2-2 Dans les sols faiblement ferrallitiques.
- 3°/- STABILITE STRUCTURALE
 - 3-1 Description méthode
 - 3-2 Résultats analytiques
 - 3-3 Relation entre la stabilité structurale et le fer libre.
 - a/- Sols ferrugineux tropicaux
 - b/- Sols faiblement ferrallitiques
 - Coefficient de corrélation.

IV.- CONCLUSION GENERALE.

- I N T R O D U C T I O N -

- LE FER DANS LE SOL -

I°/- IMPORTANCE DU FER :

Il paraît indispensable de rappeler ici que la teneur en fer de la croûte terrestre est de 4,20% et que cet élément se classe en quatrième position dans l'ordre d'abondance.

Le fer est très largement distribué dans les roches éruptives.

On rencontre le fer dans le sol sous forme de :

- Minéraux de réserves qui sont :

- magnétite, maghémite
- goethite
- lepidocrite
- stilnosidérite.

- Complexes : ferri et ferro-organiques
ferro et ferrisiliciques
ferri et ferro argileux

- Solution de fer ferreux en anaérobiose.

Au point de vue agricole, le fer joue dans le sol un double rôle :

- 1-1 dans la nutrition végétale.
- 1-2 dans la dynamique des sols tropicaux.

1-1 Rôle physiologique :

Le fer est à la limite entre les éléments majeurs et les oligo éléments.

Le fer Fe^{+++} est réduit et absorbé sous forme de Fe^{++} au niveau des racines. C'est un élément catalytique dans la synthèse chlorophyllienne. C'est un constituant de la chlorophylle; la grande concentration se trouve dans les régions à grande activité physiologique. Le cuivre et le fer sont synergiques, le premier active le dernier. Le manganèse oxyde le fer ferreux.

Il présente au point de vue biologique une importance à peine moindre que le calcium. Sa déficience chez certaines espèces de plante provoque la chlorose. Cette chlorose peut être traitée par des pulvérisations de sulfate de fer à 0,2% ou de sulfate de fer + acide nitrique.

1-2 Rôle dans la dynamique des sols :

Les sesquioxides en particulier ceux du fer, jouent un rôle important dans les propriétés d'échange des colloïdes du sol par leur action sur les surfaces actives des argiles. Ils limitent donc la capacité d'échange du complexe absorbant du sol et immobilisent l'acide phosphorique sous une forme à peu près inaccessible aux végétaux. (R. MAIGNIEN) "11"

Le fer joue un très grand rôle dans la classification des sols tropicaux qui appartiennent pour les sols climatiques des régions tropicales semi-humides et humides à la classe des sols à hydroxydes individualisés et à matière organique rapidement décomposée.

De même, la classification à l'intérieur de la classe des sols hydromorphes est basée essentiellement sur la dynamique du fer dans ces sols : gley et pseudogley.

Dans ces deux classes la dynamique des sesquioxides de fer, et de manganèse aboutit à des accumulations relatives ou absolues s'exprimant souvent par le concrétionnement et le cuirassement.

a/- Sols à hydroxydes fortement individualisés et à matière organique rapidement décomposée.

Dans cette classe on distingue 3 sous-classes dont 2 nous intéressent ici "1" :

a-1 Sous-classe des sols ferrugineux tropicaux.

a-2 Sous-classe des sols ferrallitiques.

a-1 Sols ferrugineux tropicaux :

Dans ces sols il y a une individualisation des sesquioxydes de fer et de manganèse sous l'action d'un humus bien décomposé. Ces sols ne contiennent pas d'alumine libre. Celle-ci reste donc liée à la silice sous forme d'argiles kaolinitiques. Ces sols sont plus ou moins lessivés et le lessivage, porte d'abord sur le fer puis sur l'argile. Il en résulte la formation en profondeur d'un horizon colmaté qui favorise la ségrégation et la concrétion des sesquioxydes de fer "11". Ils sont très riches en oxyde de fer. Dans cette sous-classe "1", on distingue 2 groupes :

- Sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés.

- Sols ferrugineux tropicaux lessivés. A l'intérieur de ce groupe la classification est basée sur l'intensité de la ségrégation ferrugineuse.

a-2 Sols ferrallitiques :

La caractéristique pédogénétique essentielle des sols ferrallitiques est la destruction du noyau silicaté avec libération de la silice et individualisation de l'hydroxyde d'alumine "9".

En milieu bien drainé, il y a une altération très poussée des minéraux avec individualisation des hydroxydes de manganèse de fer et d'alumine

En milieu mal drainé, l'alumine peut se recombinaer avec la silice pour redonner des argiles.

D'après R. MAIGNIEN "11", suivant que le rapport SiO_2/Al_2O_3 est inférieur à 1,3 ou compris entre 1,3 et 2 on distingue des sols fortement ~~et~~ faiblement ferrallitiques. *al*

Dans les sols faiblement ferrallitiques rouges, la destruction du noyau silicaté est peu intense, le rapport silice/Alumine est voisin de 2. Ils sont riches en Kaolinite qui en milieu bien drainé, absorbe du fer pour donner des pseu-

dosables d'où une structure poreuse. Cette structure résiste à l'érosion mais elle n'est pas stable et sa dégradation est rapide dans l'exploitation par des cultures annuelles "9".

Dans la sous-classe des sols ferrallitiques on distingue 4 groupes : d'après G. AUBERT "1".

- Sols faiblement ferrallitiques
- Sols fortement ferrallitiques
- Sols ferrallitiques lessivés.
- Sols ferrallitiques humifiés.

b/- Sols hydromorphes

Ces sols sont caractérisés par un engorgement temporaire ou permanent par l'eau : cette eau plus ou moins riche en matières organiques provoque la réduction partielle des oxydes de fer.

Le fer ferreux ou bien subit un lessivage localisé (pseudogley) ou bien s'accumule dans le profil et donne lieu à des migrations ascendantes (gley). P.H. DUCHAUFOR. "6".

Les pseudogley résultent d'un engorgement temporaire du profil alors que les gleys typiques sont liés à la présence d'une nappe phréatique permanente "6"

Les sesquioxydes de fer migrent avec facilité dans ces sols et les phénomènes de concrétionnement et de cuirassement y sont communs "11".

Dans cette classe dont l'évolution est dominée par l'action d'un excès d'eau, on distingue 2 sous-classes "1".

b-1. Sols hydromorphes organiques (engorgement total et permanent) avec un groupe de sols tourbeux.

b-2 Sols hydromorphes moyennement ou peu humifères. Pédoclimat temporairement sec sur une partie importante du profil.

A l'intérieur de la sous-classe des sols hydromorphes moyennement ou peu humifères, les phénomènes de réduction^{et}/d'oxydation du fer sont à la base de la classification.

Cette sous-classe compte 4 groupes qui sont :

- Sols à gley et pseudogley de surface ou d'ensemble.
- Sols peu lessivés à gley de profondeur.
- Sols lessivés à gley de profondeur.

La présence des sesquioxydes de fer ou de fer et d'alumine confère aux sols tropicaux des propriétés particulières. Souvent les oxydes de fer et de manganèse ont une origine extérieure aux profils. Ils proviennent des formations voisines d'où ils sont lessivés et s'accumulent dans les matériaux pré-existants qu'ils cimentent.

2°/ DYNAMIQUE

Le dynamisme des différents oxydes dans les sols tropicaux pose une série de problèmes importants sur les conditions et les facteurs de leur mobilisation, de leur transport et de leur accumulation, sur les mécanismes et les formes de l'induration.

Le mouvement du fer dans le sol comprendrait 4 phases :

- 2-1 Une phase d'individualisation et de solubilisation.
- 2-2 Une phase de migration.
- 2-3 Une phase d'accumulation.
- 2-4 Une phase d'induration.

2-1 - Individualisation - Solubilisation

Le fer combiné passe à l'état soluble ou pseudosoluble sous l'action des agents réducteurs.

D'après les travaux de BLOOMFIELD "3", la réduction du fer se ferait par l'intermédiaire de transporteurs d'hydrogène prenant naissance au cours de fermentations à partir de substances convenables secrétées par^{des} microorganismes ou de certaines fractions évoluées de la matière organique introduite comme aliment.

BETREMIEUX, 1951 "2" a montré, dans ses expériences que le fer existe le plus souvent dans le sol sous forme de pseudo solutions : complexes ferro et ferrisiliciques, en milieu peu acide et pauvre en humus et complexes ferro et ferri-organiques en milieu acide et riche en matière organique.

D'où, l'intérêt de passer ici en revue toute les expériences montrant le rôle important des composés organiques, des microorganismes et de la silice dans l'individualisation et la migration du fer dans les sols.

a/ Rôle de la matière organique

- Résidus végétaux -

a-1 Expérience de P. LOSSAINT 1954 "10".

Il montre le rôle important des acides humiques dans l'évolution du fer. Dans ces travaux sur la solubilisation du fer dans un sol par les extraits aqueux stériles de litières de feuilles, il constate qu'à concentrations semblables en matières hydrosolubles, l'extrait de litières de feuilles de charme libère des quantités de fer beaucoup plus importantes que le pin. Il constate en outre que le percolat est de couleur foncée avec le charme et claire avec le pin. Il pense que ce phénomène peut être dû à une différence d'acidité des deux extraits alors qu'aucun ne libère d'acide.

Il recommence son expérience avec des solutions dont le pH a été préalablement ramené à 7 avec/la^{de} soude N/20, toujours en milieu stérile et constate que si les taux de fer libérés sont moins importants, ils n'en sont pas moins négligeables.

Il conclue donc que la solubilisation et le transport du fer par les extraits, ne seraient donc pas dus uniquement à leur acidité mais en outre à un pouvoir réducteur et complexant très marqué de ces solutions. Le fer migrant sous forme de complexe ferreux.

La différence entre le charme et le pin d'après l'auteur ne s'explique que par la différence des agents complexants (matières humiques et d'autres substances).

BROOMFIELD (1953) "3", a mis également en évidence le rôle des composés organiques solubles qui prennent naissance, au cours de la décomposition des litières, et qui réduisent le fer partiellement à l'état ferreux le rendant ainsi mobile sous forme de complexes organiques.

a-2 Expériences de R. BETREMIEUX "2"

En 1954, R. BETREMIEUX "2" fait une étude expérimentale détaillée sur l'évolution du fer et du manganèse dans les sols. Il étudie l'action spécifique de plusieurs substances organiques.

Avec les matières végétales : Il mélange 50 g. de luzerne finement broyée à 100 g. de terre contenant du fer et les place dans un entonnoir sur une couche de sables grossier maintenu en place par quelques cailloux; il constate alors que la fermentation de la luzerne a bien provoqué la migration de quantités notables de fer

et de manganèse, mais il ne se forme pas de gley. Le fer enlevé à la terre ne se trouve pas en totalité dans le filtrat, une partie reste en chemin à l'état d'oxydes avec la matière noire qui colmate le sable grossier et se dépose dans la tige de l'entonnoir.

Il recommence le même essai sur de l'extrait aqueux de luzerne au lieu de poudre. Il ne se forme pas aussi de gley et les résultats sont presque identiques.

En protégeant le filtrat par une couche d'huile de vaseline, il constate que le fer s'y trouve à l'état ferreux ce qui prouve que la fermentation des matières végétales dans la terre entraîne également des phénomènes de réduction des composés du fer bien que ceux-ci ne se matérialisent pas par l'apparition des taches de gley.

Il fait également des essais avec quelques composants organiques tels que le glucose, l'amidon, la peptone, etc... pour mettre en évidence leur effet spécifique.

Avec le glucose : Il constate que la réduction puis la solubilisation du fer et du manganèse apparaissent comme des processus dépendants étroitement d'une activité microbienne, que l'intensité du phénomène croît d'abord très vite proportionnellement avec la quantité de l'élément énergétique disponible puis se stabilise sensiblement ou ne progresse plus vers un optimum de fermentation de cet élément (5g/l). Les fortes concentrations de glucose augmentent la stabilité du fer en solution. Il y a formation de gley. Le manganèse passe en solution plus facilement et plus rapidement que le fer.

Avec l'amidon : Il constate aussi que la réduction et la migration du fer sont moins intenses malgré une quantité d'aliment énergétique plus importante qu'avec le glucose.

Avec les protéines : Il percole un mélange constitué de 75% de sable et de 25% de terre riche en hydroxydes avec une solution de peptone à 5g/l. Il observe dans la masse une teinte vert grisâtre qui s'étend uniformément, qui n'est pas stable parce que disparaissant à la fin du traitement au cours du séchage de la terre et qui n'est pas la teinte de l'horizon de gley. Il constate également que le filtrat obtenu malgré que le jaune brun très trouble n'abandonne pas de précipité d'hydroxydes de fer et que celui-ci soit bien placé en solution en quantité notable. Il tire la conclusion suivante qu'on pourrait supposer que la mobilisation du fer est due aussi à l'action dissolvante des acides organiques.

De toutes ces expériences il s'avère que la matière organique a un rôle très marquant dans la dynamique des sesquioxydes.

b/ Rôle des microorganismes.

Parmi 250 espèces de microorganismes isolés du sol (levures, bactéries, actinomycètes), ROBERTS a isolé des souches de *Bacillus polymyxa* qui provoquent une réduction énergique et rapide de l'hydroxyde et, oxyde ferrique en suspension ou fixé aux colloïdes du sol.

Il a obtenu également avec une culture de *Clostridium* non spécifié, un effet réducteur sensible du fer ferrique mais beaucoup plus faible qu'avec le *Bacillus polymyxa*.

Cependant, STARKEY et HALVORSON "13" ont obtenu des résultats très nets sans utiliser *B. Polymyxa* (cas de cultures pures) ou sans que celui-ci se développe en opérant avec le dextrose ou la peptone; en ensemençant avec de la terre c'est *Clostridium pasteurianum* qui se développe. Dans le cas des cultures pures ils ont utilisé : Cl. Sporogènes essentiellement protéolytique, mais donnant ainsi des résultats positifs avec le dextrose.

c/ Rôle de la silice

DEMOLON et BASTISSE "4" ont réalisé des complexes ferro et ferrisiliciques et étudié leurs conditions de formation ainsi que leurs propriétés.

Ces complexes pseudo-solubles sont électronégatifs. Ils sont dispersés même en milieu neutre ou légèrement alcalin. Ils peuvent se déplacer dans le sol sans précipiter même en présence de sol calcaire pourvu que la concentration en Ca soluble ne soit pas trop forte sinon, ils flocculent partiellement.

2-2 Migration

D'après ce que nous venons de voir, le fer migre donc surtout dans le sol en milieu réducteur à l'état d'oxyde ferreux et sous forme de complexes organiques et siliciques pseudosolubles.

D'après P. DUCHAUFOUR "7", les complexes organiques pseudosolubles paraissent correspondre aux acides fulviques qui constituent la forme mobile du fer susceptible de migrer.

DEB "5" montra que la quantité d'acides humiques bruns suffisante pour peptiser l'oxyde ferrique était bien inférieure à ce que l'on pensait, si bien que la

migration du fer sous forme d'hydrosol humique paraît parfaitement normale dans les sols lessivés et importante dans la formation des podzols typiques.

Il est également à reconnaître aux corps intermédiaires fugaces provenant de la matière organique en décomposition, un rôle important dans la migration du fer.

a/ Milieux favorables "11"

Pour maintenir les sesquioxydes de fer sous une forme mobile, ils doivent donc :

- être réducteurs (favorisés par un excès d'eau).
- contenir des complexants (matières organiques, silice, etc..)
- jouir d'une activité biologique importante (vie microbienne).
- être facilement drainables (l'importance dépend de la texture, de la structure et de sa pente motrice).

b/ Agents de transport : l'eau "11"

L'eau remplit le rôle essentiel (eau de percolation, de lessivage oblique, de nappe phréatique). Elle permet la mise en solution des complexes solubles et pseudosolubles du fer, la dispersion de l'argile et certains hydrates.

2-3 Accumulation :

L'accumulation des sesquioxydes processus inverse de la mobilisation intervient par la destruction des formes de migration.

Elle se fait surtout par oxydation et par destruction du complexant (dé-complexation).

a/ Principaux facteurs d'accumulation

a-1 - Oxydation :

D'après STARKEY et HARBORSON (R. MAIGNIEN "11"), le fer, réduit est dissout par les microorganismes, s'oxyde à l'air et peut se précipiter. L'oxydation du fer en solution, ne provoque pas forcément sa précipitation, il peut rester en solution sous forme de Fe^{+++} grâce à ces combinaisons avec des radicaux organiques. Quand ces radicaux disparaissent à la suite de l'activité microbienne, les formes ferriques se déposent peu à peu.

L'oxydation est fonction de l'aération du sol qui dépend de l'assemblage de ses constituants (texture et structure) et des teneurs en eau "11".

- Texture et structure : toute pratique tendant à augmenter les particules grossières dans le sol, favorise l'aération donc l'oxydation des sesquioxides et par conséquent leur immobilisation. Ces processus sont nets dans les alluvions hétérogènes.

- Drainage : L'aération du sol peut provenir aussi d'un départ accéléré de l'eau de percolation et d'une façon générale tout accident du terrain qui provoque un abaissement du niveau de base amène l'aération des sols et favorise l'immobilisation des sesquioxides.

a-2 La décomplexation :

La destruction des complexes de fer est due principalement au manque de matériaux organiques qui diminue considérablement l'activité microbienne.

Les microorganismes spécifiques sont des ferro bactéries qui comprennent des espèces variées. Ils sont aérobies. Il en résulte donc une plus grande oxygénation qui entraîne l'oxydation du fer ferreux qui à l'état ferrique se dépose sous forme de sesquioxides.

La diminution des teneurs en matière organique résulte soit de la diminution des apports organiques par la végétation (remplacement de forêt par la savane, débrousses, mise en culture) soit par l'accélération de la minéralisation de la matière organique (augmentation du drainage, travail du sol, amendement) soit par décapage des horizons humifères par l'érosion R. MAIGNIEN "11".

Les microorganismes n'interviendraient qu'indirectement en détruisant les substances complexantes.

En effet, la transformation de Fe⁺⁺ en Fe⁺⁺⁺ peut être indépendante de toute action microbienne et résulter simplement de l'élévation de la tension d'oxygène, donc toujours possible à l'air.

L'oxydation de Fe⁺⁺ étant représentée par relation d'équilibre :



b/- Les principaux mécanismes d'accumulation :

b-1 Accumulation absolue "8" :

Elle résulte de l'importation des sesquioxydes dans le milieu considéré. Elle implique une source extérieure de sesquioxydes exportables, un mécanisme de mobilisation, de transport et d'immobilisation. Le relief devra donc permettre l'évacuation facile des eaux chargées de sesquioxydes mobiles vers les zones de réception ou d'accumulations plates et mal drainées de préférence.

L'accumulation se réalise sous n'importe quel couvert végétal et même sous les climats les plus divers. Les couverts arbustifs et les jeunes forêts s'avèrent les mobilisateurs les plus actifs. Ils sont un système racinaire dense et protègent suffisamment le sol des variations climatiques brusques, assurant ainsi des conditions favorables à l'élaboration de corps organiques complexants.

La déforestation qui est néfaste sur les zones d'accumulation relative n'a que peu d'effet sur les zones d'accumulation absolue "8".

Pour le continent africain, d'après J.D'HOORE "8", la majorité des zones d'accumulation sont très anciennes et parmi les actuelles, les accumulations absolues dans le paysage échappent presque complètement à l'influence humaine dominante.

Dans la sous-classe des sols ferrugineux tropicaux qui intéressent ici l'étude comparative de deux méthodes analytiques de fer libre (D'HOORE et DEB) la forme d'accumulation absolue est la seule observée jusqu'ici.

b-2 Accumulation relative "8"

Dans cette forme d'accumulation la teneur en sesquioxydes augmente du fait de l'exportation de non sesquioxydes dont le principal exportable est la silice qui se libère lors de l'altération des silicates.

Les sesquioxydes s'accumulent et les non sesquioxydes exportés ont une origine commune.

Plus les roches seront riches en sesquioxydes et en éléments exportables, plus aisément leurs minéraux s'altéreront plus facilement, aussi l'accumulation se réalisera "8".

Un climat chaud et la présence d'eau favorisent l'altération chimique des roches et l'exportation partielle des produits mobiles libérés.

On distingue 2 formes d'accumulations relatives :

-- Accumulations relatives en profondeur, dans laquelle l'exportation se fait par des eaux de percolation. Elle exige donc un bon drainage des eaux souterraines.

-- Accumulations relatives en surface, dans laquelle l'exportation est assurée principalement par les végétaux. Un relief trop accidenté peut causer le décapage par érosion des couches enrichies par accumulation relative en surface "8".

L'homme peut lutter contre les phénomènes d'accumulation relative en surface par des apports d'engrais organiques ou minéraux par l'établissement de cultures protectrices résistantes au feu ou en compensant les exportations, par une amélioration du relief (nivellement pour éviter les bas de pente), par une conservation des forêts et le remplacement des couverts végétaux herbacés par des cultures pluriannuelles limitant ainsi les exportations et en assurant au sol un microclimat moins variable.

L'accumulation relative est essentiellement le domaine des sols ferrallitiques. Elle aboutit à la formation des cuirasses bauxitiques.

Les accumulations qui aboutissent à la formation de cuirasses ou de concrétions modifient complètement la dynamique des sols.

Dans le cas du cuirassement il y a formation d'un horizon d'arrêt total dans le sol avec toutes les conséquences hydriques.

2-4 Induration :

L'induration résulte des phénomènes d'oxydation, de précipitation et de dessiccation. Ces phénomènes sont liés à la destruction des complexants organiques qui ne sont que faiblement renouvelés en saison sèche, au dessèchement du sol qui amène la concentration des solutions.

Les horizons fortement enrichis en sesquioxydes libres sont souvent indurés et de ce fait modifient la dynamique des sols. Ils augmentent l'intensité du phénomène d'accumulation.

L'induration est fortement influencée par le climat, la végétation et l'activité humaine.

- Sous-Savane : En saison des pluies, il y a mobilisation et lessivage intense des sesquioxides. En saison sèche, le manque d'eau (par évapotranspiration intense et par remontée capillaire) provoque une immobilisation brutale avec concrétionnement et cuirassement.

Lorsque l'érosion met à nu la cuirasse, on a un sol sénile, et il faut attendre un démantèlement de ces cuirasses pour le rendre propre aux cultures.

- Sous-forêt : Les conditions atmosphériques étant moins brutales, l'humidité plus constante, le cuirassement est très réduit

Dans les sols cuirassés on observe :

- une modification du régime hydrique entraînant un engorgement prononcé en saison des pluies par arrêt des eaux au-dessus de l'horizon cuirassé. Ce phénomène est d'autant plus nocif que l'horizon d'engorgement est proche de la surface du sol. En saison sèche il y a un dessèchement d'autant plus rapide et complet que l'horizon cuirassé sera plus proche de la surface.

- une modification de la matière organique abaissant les teneurs en azote "11".

- une transformation de la stabilité structurale des zones superficielles "11".

- une modification de la vie des végétaux y poussant par inaptitude au milieu considéré avec l'apparition d'un système racinaire superficielle et une sélection d'espèces adaptées qui supportent un excès d'humidité en saison des pluies et des conditions d'extrême aridité en saison sèche (cypéracées) "11".

2-5 Conclusion :

Ces phénomènes d'érosion qui sont très influencés par des facteurs climatiques et pédogénétiques, sont le plus souvent très accélérés par les pratiques culturales inadaptées aux sols. Il convient de les limiter par la lutte antiérosive, qui s'avère de plus en plus nécessaire si on juge par son importance de plus en plus grande.

On voit, ainsi, apparaître l'importance considérable que la dynamique du fer peut avoir sur le devenir des sols. Un des aspects de cette dynamique est traduit par le rapport Fer libre/Fer total.

Le fer du sol peut être présent sous plusieurs formes douées de propriétés peu semblables.

Nous avons des minéraux ferrugineux où l'ion ferrique ou ferreux fait partie du réseau cristallin. Ce fer ne jouera aucun rôle comme tel, aussi longtemps qu'il ne sera libéré par un processus d'altération. Cette altération a lieu dans le sol même, dans son matériel de départ immédiat, ou, éventuellement dans la roche dont dérive ce matériel de départ du sol. Ce fer libre du sol est composé par la plus grande partie d'oxydes plus ou moins hydratés, surtout localisés sur les surfaces actives (tels que argiles, limons, etc...) et joue donc un rôle prépondérant dans l'aggrégation de ces particules (pseudolimons, pseudosables).

Une autre partie du fer libre est présente sous des formes mobiles dans l'eau du sol. Ce sont des ions, des complexes minéraux ou organominéraux ou simplement des sols colloïdaux stabilisés par adsorption de substances lyophiles.

Si la distinction théorique entre ces différentes formes de composés semble relativement aisée, il n'en est pas de même pour les techniques de séparation et de dosage. Le meilleur critère semble être celui de la solubilité.

Plusieurs méthodes furent mises au point dans le but de décaper les surfaces des argiles de la couche de sesquioxydes qui les recouvre souvent sans déranger leur réseau cristallin :

On peut admettre que la plupart des minéraux ferrugineux cristallins sont plus résistants que les argiles. Le fer mis en solution par ces méthodes peut donc être considéré comme le fer libre comprenant ainsi des fractions mobiles.

Ces méthodes de solubilisation de fer mobile libre sont toutes basées sur les principes suivants :

- Emploi d'un radical organique qui complexe fortement le fer.
- Un milieu réducteur et faiblement acide "I2".

Etant donné, deux méthodes d'analyses du Fer libre utilisées le plus couramment dans les laboratoires de l'O.R.S.T.O.M. : la méthode DEB employée par exemple à BONDY et la méthode d'HOORE au centre de pédologie de HANN, et les différences relevées parfois pour un même échantillon d'un centre à l'autre, il s'avère intéressant d'en faire une comparaison statistique afin d'en dégager celle qui semblerait avoir plus de chances quant à sa reproductibilité, à son exactitude dans l'application à la dynamique des sols et à sa rapidité d'exécution.

Le fer intervenant principalement dans la dynamique des sols tropicaux et particulièrement dans la modification de la structure de ces sols il m'a été demandé de faire, sur 104 échantillons prélevés en Casamance dans les zones de sols faiblement ferrallitiques et ferrugineux tropicaux, l'interprétation du rapport Fer libre/Fer total facteur important de caractérisation de ces deux types, et tirer la relation qui existe entre la stabilité structurale et le Fer libre.

Tel est donc rapidement évoqué le plan d'ensemble du travail personnel qui m'a été confié.

0
0 0
0

II.- COMPARAISON DE DEUX METHODES D'ANALYSE DU FER LIBRE
DEB & D'HOORE

I°/- Description de la méthode DEB :

Méthode utilisée au Laboratoire de CHIMIE DES SOLS à l'I.D.E.R.T.
BONDY "I4".

1-1 Extraction :

a) Réactifs

- Solution normale d'acétate de sodium et 0,2 N de tartrate de sodium : soit 136 g. d'acétate et 23 g. de tartrate pour 1 litre (de préférence on en prépare pour 2 litres à chaque fois vu le nombre important d'échantillons par série).

- Hydrosulfite de sodium ($S_2 O_4 Na_2$)
- Acide chlorhydrique N/20
- Acide sulfurique et nitrique concentré.

b) Matériel nécessaire

- 1 tamis 100 (échelle américaine) nodule 24 NF x 11.50
- 1 mortier d'agate avec son pilon
- 1 balance de précision
- 1 bain-marie à température réglable.
- 1 centrifugeuse
- 1 plaque chauffante.

Pour une série de 24 échantillons

- 25 béchers de 250cc F.H. de préférence
 - 24 verres de montre adaptés aux béchers.
 - 24 tiges de verre pour agitation
 - 24 tubes à centrifuger (capacité 100 cc).
 - 1 éprouvette de 25cc ou de 10cc pour Hcl pur.
 - 1 fiole de 2 L. (pour Hcl N/20)
 - 1 éprouvette de 100 cc
-

- 1 pissette et 1 tonnelet pour l'eau distillée.
- 1 bécher de 800 cc F.H.
- 1 main pour les pesées.
- 1 plateau pour le transport des bécchers.
- 24 tubes à essais pour l'hydrosulfite (2 g).

c) Mode opératoire

- Peser 1g. de terre fine passant au tamis 100 échelles américaines module 24 NFX II.50I, et l'introduire dans un tube à centrifuger.

- Ajouter 50 ml. d'eau (cas de terre non calcaire), ou 50 ml. de la solution mixte de tartrate et d'acétate qui sert à tamponner le milieu et à complexer le fer dissout (cas de terre calcaire).

- Agiter énergiquement.

- Ajouter 2g. d'hydrosulfite et laisser au bain-marie à 40° en agitant de temps en temps pendant 40 minutes jusqu'à ce que la décoloration soit complète.

- Centrifuger pendant 5 minutes environ et décanter dans un bécher de 250cc forme haute.

- Agiter le culot de temps en temps (pour décoller la terre du fond des tubes) pendant 15 minutes en présence de 50 ml. de HCl N/20 à 40° C.

- Centrifuger et ajouter le centrifugat au premier.

- Faire un deuxième traitement identique au précédent (attaque à l'hydro-sulfite et lavage chlorhydrique). Joindre les solutions. Le résidu doit être blanchâtre (un troisième traitement est parfois nécessaire).

- Concentrer au bain de sable très chaud ou à la plaque chauffante (vers 60°) en présence de 5 ml. de $\text{SO}_4 \text{H}_2$ concentré pour stabiliser le milieu (on a constaté un léger précipité blanc jaunâtre qui serait probablement du soufre en excès).

- Recouvrir le bécher d'un verre de montre ou mieux d'un entonnoir renversé de dimension appropriée pour jouer le rôle de condensateur.

- Amener à fumées blanches et introduire par le bec du bécher $\text{NO}_3 \text{H}$ concentré goutte à goutte en attendant que chaque goutte ait bien réagi avant d'ajouter la suivante (Il faudrait environ 10 gouttes).

- L'attaque est terminée lorsque la solution est devenue d'un jaune franc stable. Une quantité très faible d'acide nitrique est nécessaire.

- Chasser les vapeurs nitreuses en amenant à sec. Dosage.

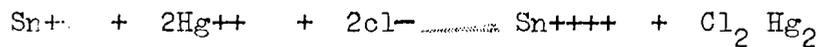
Le dosage du fer peut ensuite s'effectuer par de nombreuses méthodes (par volumétrie, par colorimétrie à l'orthophénanthroline...etc...).

Nous ne parlerons que de la méthode par volumétrie au bichromate de potassium qui est utilisée ici.

I-2 Dosage au bichromate de K

a/- Principe :

Le fer est amené à l'état Fe⁺⁺ par le chlorure stanneux. De cette façon Fe⁺⁺⁺ n'est pas réduit. L'excès de chlorure stanneux est enlevé par oxydation par le chlorure mercurique



Fe⁺⁺ est alors dosé par une solution de bichromate titré N/10 ou N/50.

On ajoute de l'acide phosphorique afin de provoquer un complexe avec les ions Fe⁺⁺⁺ formés au cours du titrage. La fin de la réaction d'oxydation est donnée par un indicateur : diphénylamine sulfonate de Ba.

b/- Réactifs :

- Solution stanneuse :

- 5 g. de Cl₂ Sn (pur fondu)
- 5 ml. de HCl concentré
- Chauffer
- compléter à 100 ml.

- Cl₂ Hg 5% (à chaud)

- PO₄ H₃ concentré - 84%

c/- Matériel nécessaire

Pour une série de 24 échantillons :

- 24 entonnoirs tige courte ϕ 70 mm.
- 24 erlenmeyers de 300 cc.
- 1 fiole jaugée de 1.000 ml.
- 1 fiole jaugée de 500 ml.
- 1 fiole jaugée de 100 ml.
- 1 pipette étalon de 25 ml.
- 1 compte gouttes (pour le diphénylamine).
- 4 béchers de 250 ml.
- 2 pipettes bâton de 10 ml.
- 2 éprouvettes de 25 ml.
- 1 éprouvette de 100 ml.
- 1 burette automatique.
- Du papier filtré gris ϕ 110 mm.
- 1 rampe à filtration.
- 1 bec de gaz.
- 1 agitateur magnétique (avec barreaux).

d/- Mode opératoire :

- Reprendre le résidu par 20 ml. de ClH 1/2 à chaud (attendre dissolution complète ajouter 80 ml. d'eau distillée et concentrer à 50 ml. environ).

- Filtrer sur filtre gris. Laver le filtre avec un peu d'eau chaude. Récupérer le filtrat dans un erlenmeyer de 300 ml. (ce filtrat se trouve ainsi débarrassé de l'hydrosulfite et également des matières organiques éventuellement présentes par oxydation).

- Chauffer au voisinage de l'ébullition.

- Ajouter goutte à goutte du chlorure stanneux jusqu'à disparition du complexe ferrichlorhydrique jaune. Ajouter une goutte en excès.

- Refroidir sous un courant d'eau.

- Ajouter en une seule fois 10 ml. de chlorure mercurique ($\text{Cl}_2 \text{Hg}$ à 5 %) : attendre 2 minutes. Le précipité de $\text{Cl}_2 \text{Hg}_2$ doit être faible.

- Ajouter 100 ml. d'eau distillée.

10 ml. de $\text{SO}_4 \text{H}_2$ 6 N

5 ml. de $\text{PO}_4 \text{H}_3$ concentré.

6 à 8 gouttes de diphénylamine.

- Faire tomber le bichromate titré en agitant. Il apparaît une coloration verte due aux ions Cr^{+++} . Aller lentement à la fin jusqu'à apparition de la teinte violette : (un excès de bichromate détruit l'indicateur)

- Faire un dosage avec les mêmes réactifs, sur une solution étalon de fer juste (pour vérifier la relation suivante).

1 ml. de bichromate exactement N/10 = 5mg 58 de Fer.

NOTA : On fait généralement l'étalonnage sur plusieurs répétitions au moins 3 pour s'assurer du résultat.

2°/- Description de la méthode d'HOORE

(méthode utilisée au Laboratoire de CHIMIE de HANN-DAKAR "I5")

2-1 Principe :

Extraction par un radical organique en milieu réducteur faiblement acide
Addition de permanganate pour éliminer le réducteur et oxyder le fer. Dosage du fer ferrique par le nitrate mercurieux en présence de sulfacyanure.

2-2 Extraction :

a/- Réactifs

- Acide oxalique à 10%
- Soude : 50g. pour 100 ml. d'eau.
- Eau oxygénée à 10%
- Aluminium en fil.

b/- Matériel nécessaire

Pour une série de 24 échantillons

- 25 béchers de 600 ml. FH
- 24 fioles de 500 ml. (avec bouchons)
- 1 pissette (pour eau oxygénée)

- I éprouvette de 25 ml.
- I éprouvette de 100ml.
- I plaque chauffante (avec bec de gaz)
- I bécher de 250 ml.
- I pipette bâton de 25 ml.
- I trébuchet
- I main (pour les pesées).

c/- Mode opératoire

- Peser 5g. de sol passé au tamis de 2mm et bien homogénéisé. Mettre dans un bécher de 600 m. F.H. (bien étaler la terre au fond pour faciliter l'attaque).

- Ajouter 20 ml. d'eau oxygénée à 10%. Agiter un peu et mettre le bécher sur la plaque chauffante afin de détruire la matière organique. Répéter l'opération si besoin/^{est} jusqu'à destruction complète. Descendre par un jet de pissette contenant du $H_2 O_2$ à 10% les traces de terre qui restent retenues aux parois du bécher.

- Evaporer à sec.

- Ajouter 400 ml. d'eau distillée et 1ml. de soude. Laisser bouillir 10 minutes.

- Introduire alors la spirale d'aluminium et ajouter 100 ml. d'acide oxalique. On se trouve ainsi en milieu réducteur faiblement acide.

- Laisser bouillir jusqu'à décoloration du sol.

- On retire du feu et on ajoute lentement à la pipette bâton 20 ml. de $H_2 O_2$ pour solubiliser l'oxalate ferreux. On retire la spirale d'aluminium et on laisse sur bain-marie (ou sur plaque chauffante à température suffisante) jusqu'à cessation de toute effervescence.

- Laisser refroidir et transvaser dans les fioles de 500 ml. Ajuster et Homogénéiser. Laisser décanter quelques temps. On obtient une solution (E) pour le dosage.

2-3 Dosage

a) Réactifs

- Permanganate de K 2N environ (63 g/l)

- Sulfocyanure d'ammonium : 400 g/litre
- Acide sulfurique concentré.
- Nitrate mercureux : 15 g/Litre + 25 ml. $\text{NO}_3 \text{ H}$.

b/- Matériel nécessaire

Pour une série de 24 échantillons :

- 24 erlenmeyers de 150 ml.
- 24 fioles de 25 ml. (pour les prélèvements)
- 1 burette automatique de 50 ml.
- 1 bec de gaz
- 1 burette ordinaire.
- 1 verseur de 5 ml. ou éprouvette de 10 ml.
- 1 pipette étalon de 10 ml.
- 1 pipette baton de 1 ml.
- 1 agitateur magnétique (avec barreaux).

c/- Mode opératoire

- Prélever 25 ml. de la solution (E). Mettre dans un erlenmeyer de 150 ml. Ajouter de l'eau et 1 ml. de $\text{SO}_4 \text{ H}_2$ pur.
- Chauffer jusqu'à ébullition commençante.
- A la burette ordinaire ajouter goutte à goutte du permanganate environ 2N jusqu'à coloration rose (pour oxyder le fer ferreux). On fait alors disparaître cette coloration par addition de 2 ou 3 gouttes d'acide oxalique très étendu 1/100 L. (pour éliminer les traces en excès de permanganate). On obtient ainsi une solution de fer ferrique.
- Laisser refroidir.
- Ajouter 5 ml. de sulfocyanure. La solution prend une teinte rouge sang.
- Titrer par le nitrate mercureux 0,01 N en versant ce réactif à la burette jusqu'à décoloration total. On revient ainsi au fer ferreux.

2-4 Etalonnage de la solution de nitrate mercurieux

- On part d'une solution de fer établie par une dissolution d'environ 500 mg. (peser très exactement) de Fer pur dans HCl pur. On ajuste à I litre.

- On effectue des essais sur 10 ou 20 ml. de la solution qu'on place dans des erlenmeyers de 150 ml.

- Ajouter de l'eau + I ml. de $\text{SO}_4 \text{H}_2$ pur.

- Chauffer jusqu'à ébullition commençante.

- Ajouter goutte à goutte $\text{Mn O}_4 \text{K}$ 0,05 N pour être sûr que tout le fer est oxydé. Eliminer au besoin l'excès de $\text{Mn O}_4 \text{K}$ (teinte rose) par I ou 2 gouttes de solution oxalique.

- Après addition de sulfocyanure, on verse $\text{NO}_3 \text{Hg}$ à la burette jusqu'à décoloration.

- On calcule ainsi :

$$\text{Icc } \text{NO}_3 \text{Hg} = x \text{ mg de Fe.}$$

D'où pour une prise de 5 g. de terre et une partie aliquote de 25/500,
on a : $\text{Fe } \% = x \times 4 \times \text{cc utilisés.}$

Comme x est toujours voisin de 0,6 mg. $\text{Fe } \% = \text{cc utilisés} \times 2,5$ environ. On peut ainsi faire varier les parties aliquotes si on a une idée à priori de la teneur en Fer.

- RESULTAT FINAL -

exprimé en $\text{Fe}_2 \text{O}_3$ % pour les 2 méthodes DEB & D'HOORE est de :

$$\underline{\text{Fe}_2 \text{O}_3 \% = \text{Fe } \% \times 1,4285}$$

3°/ TABLEAU I. RESULTATS ANALYTIQUES DE FER LIBRE, PAR
LES 2 METHODES "DEB & D'HOORE" sur :

3-I SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX (Casamance)

N° ECHANTILLONS	DEB Fe ₂ O ₃ ‰	D'HOORE Fe ₂ O ₃ ‰
CB II80	4,3	4,5
II81	4,9	6,1
II82	6,3	6,7
II83	4,8	5,7
II84	11,1	12,1
II85	20,2	21,1
II86	24,7	24,6
CB 920	8,7	7,7
921	9,4	9,6
922	11,0	10,9
923	12,7	13,7
924	16,1	17,6
CB II50	8,1	8,6
II51	9,7	10,9
II52	10,5	11,2
II53	18,0	17,6
II60	6,7	7,7
II61	7,8	8,3
II62	8,3	9,3
II63	10,7	10,5
CE 60	7,9	8,3
61	8,6	8,6
62	8,9	9,9
64	25,9	25,9

.../...

CCI40	6,2	6,1
I41	9,4	8,6
I42	9,7	9,9
I43	18,0	18,5
90	8,9	8,6
91	11,6	11,5
92	18,1	16,6
93	21,3	21,4
94	23,3	22,7
95	29,3	26,9
96	32,8	32,9
97	65,3	70,7
CC34I	10,2	9,9
342	17,0	17,9
343	20,9	20,5
344	29,4	28,5
CC650	7,1	6,4
651	8,7	8,9
652	10,7	11,8
653	20,5	19,2

TABLEAU II

3.2 SOLS FAIBLEMENT FERRALLITIQUES

N°ECHANTILLONS	DEB Fe ₂ O ₃ %	D'HOORE Fe ₂ O ₃ %
CA 91	5,6	6,7
92	7,1	8,1
93	7,8	8,6
94	9,8	12,8
95	18,3	17,6
96	20,7	20,1
97	23,9	23,0

/

TABLEAU II (Suite)

CA	III	6,3	6,1
	II2	6,5	6,4
	II3	7,1	7,3
	II4	II,0	IO,4
	II5	I6,1	I6,0
	II6	I8,3	I7,9
	II7	I8,3	I7,9
	II8	2I,5	20,8
CA	I0	6,3	7,3
	II	6,3	7,0
	I2	7,1	7,7
	I3	IO,3	I2,1
	I4	I9,9	I8,9
	I5	I8,3	I7,3
	I6	I5,9	I6,0
	I7	I7,5	I7,6
	I8	I8,3	I7,6
	I9	I8,3	I8,5
	I9a	22,1	20,8
	I9b	26,3	24,0
	I9c	25,3	23,0
	I9d	27,1	24,3
	I3 I30c	9,2	8,9
CA	I30b	7,8	8,6
	I30d	8,7	8,3
	I31	I7,5	I6,9
	I32	25,5	27,8
	I33	33,3	32,9
	I34	48,1	49,3
CA	I35	58,8	68,1
	I36	II,1	II,8
	I37	27,4	30,4
	I38	7,0	5,1
NR	II	6,2	6,4
	I2	6,8	7,3
	I3	IO,3	9,6
	I4	I3,5	I3,1
	I5	I3,5	I2,1
	I6	I4,0	I3,1
	I7	I4,5	I6,0
			.../...

TABLEAU II (Suite)

NR	21	7,1	7,7
	22	8,4	9,3
	23	9,7	10,5
	24	13,8	15,3
	25	18,3	16,9
	26	18,3	17,3
SF	IO1	8,1	7,3
	IO2	11,8	11,5
	IO3	22,4	21,7
	IO4	23,9	23,8
	IO5	43,5	43,2
	IO6	30,9	31,0
	IO7	30,3	32,0

4°/ COMPARAISON STATISTIQUE DES DEUX METHODES

La comparaison statistique de deux méthodes d'analyse sur des types d'échantillons différents ne s'appliquant qu'à des populations normalement distribuées, il s'avère indispensable de tracer d'abord des courbes de fréquences afin de ne considérer ensemble que des résultats d'une même population ce qui nous amène à distinguer, pour les IO4 échantillons et d'après 3 graphiques d'intervalles (en abscisse) de 2% (I) 3% (II) et 4% (III) de Fer libre, 2 populations normalement distribuées.

Dans les graphiques I et III on pourrait distinguer 3 populations en considérant la courbe d'HOORE alors que la courbe DEB ne semblerait donner que 2 populations.

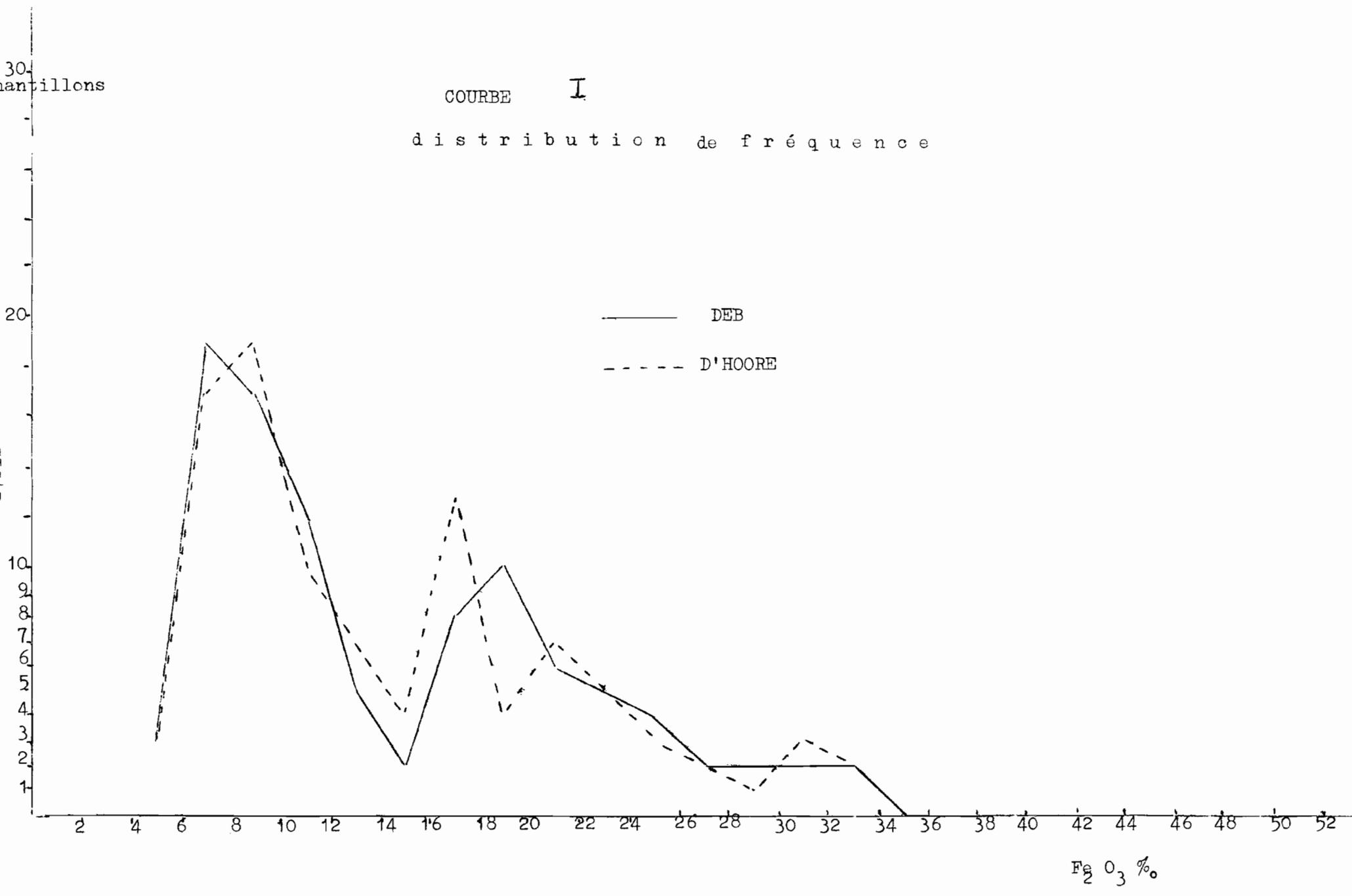
Dans le graphique II cette troisième population constatée dans les 2 précédents graphiques avec la courbe d'HOORE disparaît et la deuxième population se trouve prolongée. Nous considérerons donc la courbe DEB et 2 populations.

Nb
d'échantillons

COURBE I
distribution de fréquence

— DEB
- - - D'HOORE

-27bis-



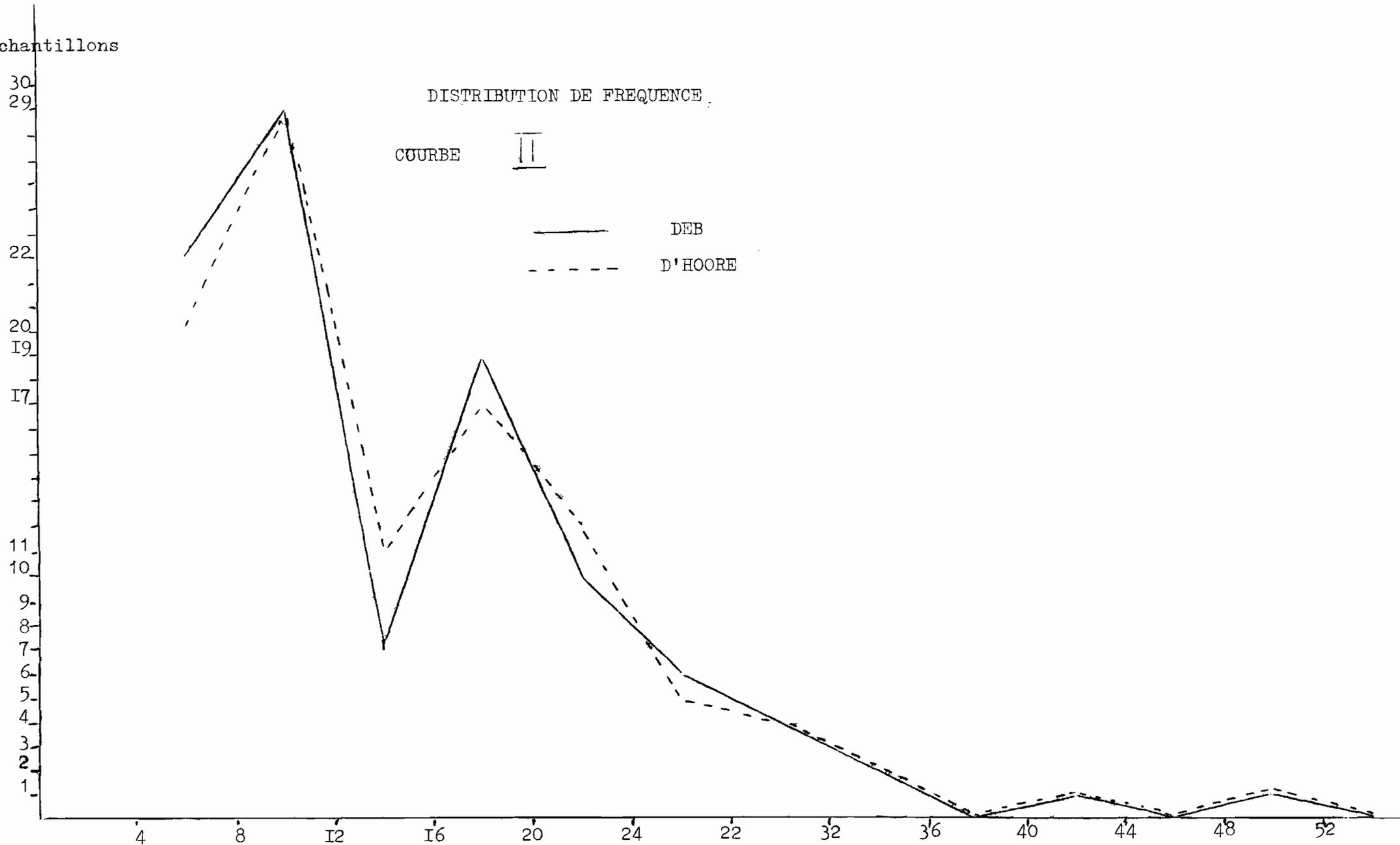
Nb
d'échantillons

DISTRIBUTION DE FREQUENCE

COURBE 

— DEB
- - - D'HOORE

- 27 -



Nb
d'échantillon

DISTRIBUTION DE FREQUENCE

COURBE



— DEB

- - - D'HOORE

-27^u

30

20

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

3

6

9

12

15

18

21

24

27

30

33

36

39

42

45

48

51

54

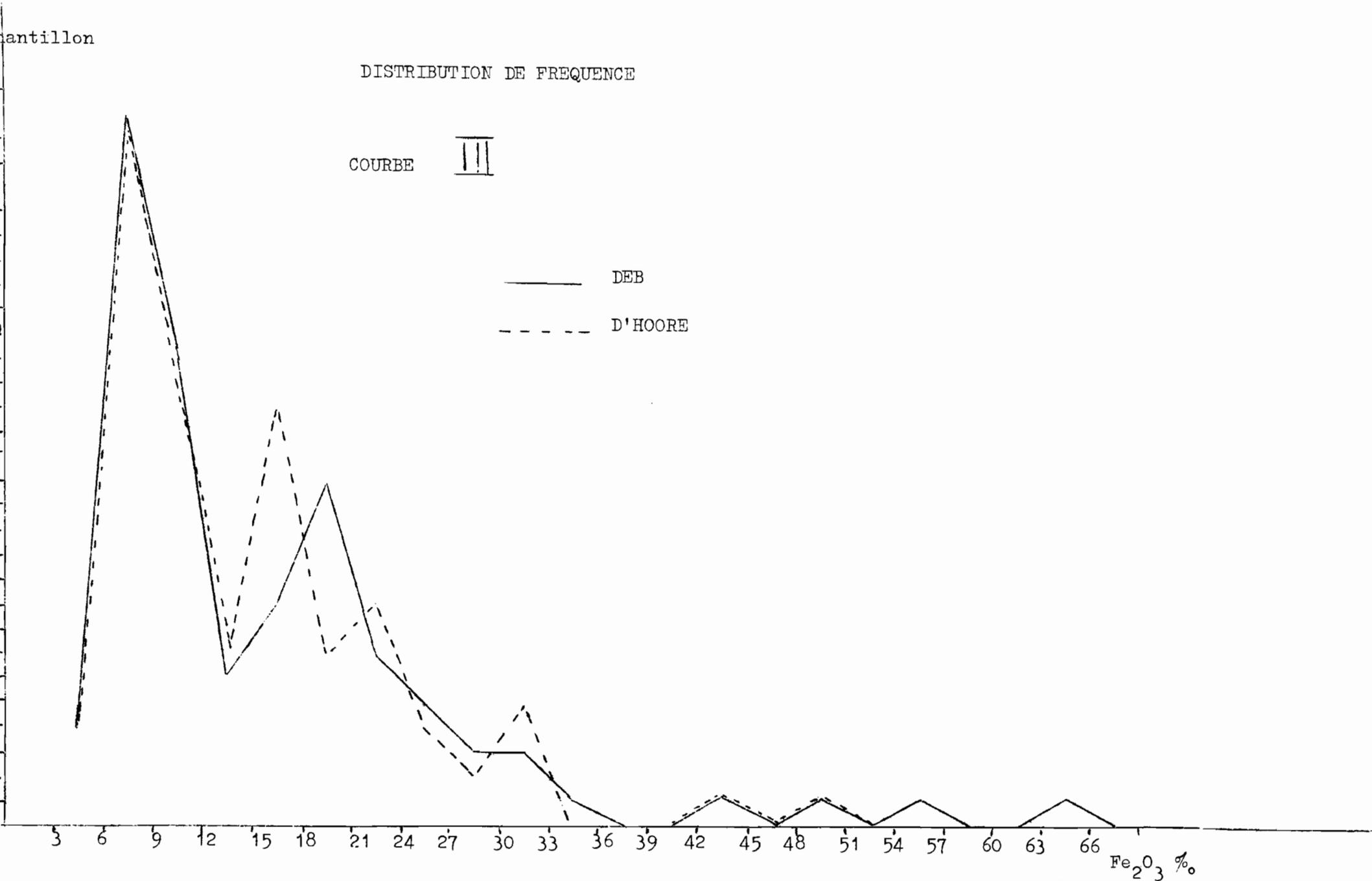
57

60

63

66

Fe₂O₃ %



La première population comprendrait des résultats de fer libre allant de 4% à 15% inclus et la deuxième population ceux allant de 15% exclus à 29% inclus.

Ces deux populations comprenant plus de 30 échantillons, la méthode dit de comparaison entre plus de deux échantillons ou analyse de la variation totale d'une expérience "I6" semblerait la plus précise et par conséquent celle qu'on pourrait valablement utiliser ici.

POPULATION I
(Fe₂ O₃ %) "I6"

ECHANTILLONS		DEB x _a	D'HOORE x _b
CA	91	5,6	6,7
	92	7,1	8,1
	93	7,8	8,6
	94	9,8	12,8
	III	6,3	6,1
	II2	6,5	6,4
	II3	7,1	7,3
	II4	11,0	10,4
	IO	6,3	7,3
	II	6,3	7,0
	I2	7,1	7,7
	I3	10,3	12,1
	I30b	7,8	8,6
	I30c	9,2	8,9
	I30d	8,7	8,3
	I36	11,1	11,8
	I38	7,0	5,1
	NR	II	6,2
I2		6,8	7,3
I3		10,3	9,6
I4		13,5	13,1
I5		13,5	12,1
I6		14,0	13,1
I7		14,5	16,0
21		7,1	7,7
22		8,4	9,3
23		9,7	10,5
24	13,8	15,3	
SF	I01	8,1	7,3
	I02	11,8	11,5
			.../...

CB	II80	4,3	4,5	
	II8I	4,9	6,I	
	II82	6,3	6,7	
	II83	4,8	5,7	
	II84	II,I	I2,I	
	920	8,7	7,7	
	92I	9,4	9,6	
	922	II,0	IO,9	
	923	I2,7	I3,7	
	II50	8,I	8,6	
	II5I	9,7	IO,9	
	II52	IO,5	II,2	
	II60	6,7	7,7	
	II6I	7,8	8,3	
	II62	8,3	9,3	
	II63	IO,7	IO,5	
CE	60	7,9	8,3	
	6I	8,6	8,6	
	62	8,9	9,9	
CC	I40	6,2	6,I	
	I4I	9,4	8,6	
	I42	9,7	9,9	
	90	8,9	8,6	
	9I	II,6	II,5	
	34I	IO,2	9,9	
	650	7,I	6,4	
	65I	8,7	8,9	
	652	IO,7	II,8	
	<u>n = 58</u>	<u>5I5,6</u>	<u>534,4</u>	
	$\bar{x}_a =$	8,89	$\bar{x}_b =$	9,2I

Soit :

n = Nombre de résultats dans chaque série.

x_a = Résultat individuel de DEB

x_b = Résultat individuel de d'HOORE

T_1 = Somme des résultats DEB = $\sum (x_a)$

T_2 = Somme des résultats d'HOORE = $\sum (x_b)$

\bar{x}_a = Résultat moyen DEB

\bar{x}_b = Résultat moyen D'HOORE

y = Terme correctif = $\frac{(T_1 + T_2)^2}{2n}$

$$T_1 = \sum x_a = 515,6$$

$$T_2 = \sum x_b = 534,4$$

$$\sum (x_a^2) = 4.921,84 \qquad \sum (x_b^2) = 5.286,92$$

$$T_1^2 + T_2^2 = 265.843,36 + 285.583,36 = 551.426,72$$

Terme correctif (y)

$$y = \frac{(T_1 + T_2)^2}{2n} = \frac{(515,6 + 534,4)^2}{116} = 9.504,31$$

Variation totale :

$$A = \sum (x_a^2) + \sum (x_b^2) - y$$

$$A = (4.921,84 + 5.286,92) - 9.504,31 = \underline{704,45}$$

Variation des traitements ou variation entre les séries :

$$B = \frac{T_1^2 + T_2^2}{n} - y = \frac{551.426,72}{58} - 9504,31 = \underline{3,05}$$

Le nombre de degrés indépendants étant I, la variance des traitements

$$Vt = B = \underline{3,05}$$

Variation de l'erreur expérimentale ou variation incluse dans les séries

$$A - B = 704,45 - 3,05 = 701,40$$

Le nombre de degrés indépendants = 2 (n-I) = 114

Variance de l'erreur :

$$Ve = \frac{701,40}{114} = 6,1526$$

Erreur type de la différence d

$$\sigma_d = \sqrt{2 \times 6,1526} = \sqrt{0,212159} = \underline{+ 0,46}$$

Dans le cas de petits échantillons (moins de 30) on sait qu'une différence "d" est significative lorsque $\frac{d}{\sigma_d} \geq t$ de la table de FISCHER à la probabilité P = 0,05

ce qui peut encore s'écrire

$$d \Rightarrow t \sigma_d \text{ pour } P = 0,05$$

Mais dans le cas où chaque série comprend plus de 30 échantillons tel est le cas ici la différence "d" entre leurs moyennes respectives est significative si elle est supérieure ou égale à 2 fois son erreur type "I6" Soit $d \geq 2 \sigma_d$

La plus petite différence significative "d" entre les moyennes est égale à :

$$"d" = 2 \sigma_d = 0,46 \times 2 = \underline{0,92}$$

La différence entre les moyennes est :

$$18,469 - 17,834 = \underline{0,32}$$

Cette différence étant inférieure à la plus petite différence significative donc les deux méthodes DEB et D'HOORE pour les valeurs de fer libre allant de 4‰ à 15‰ conduisent à des résultats identiques.

POPULATION II
(Fe₂ O₃ ‰) "I6"

N°ECHANTILLONS		DEB x _a	D'HOORE x _b
CA	95	18,3	17,6
	96	20,7	20,1
	97	23,9	23,0
	II5	16,1	16,0
	II6	18,3	17,9
	II7	18,3	17,9
	II8	21,5	20,8
	I4	19,9	18,9
	I5	18,3	17,3
	I6	15,9	16,0
	I7	17,5	17,6
	I8	18,3	17,6
	I9	18,3	18,5
	I9a	22,1	20,8
	I9b	26,3	24,0
	I9c	25,3	23,0
	I9d	27,1	24,3
	I31	17,5	16,9
	I32	25,5	27,8
	I37	27,4	30,4
NR	25	18,3	16,9
	26	18,3	17,3
SF	I03	22,4	21,7
	I04	23,9	23,8
CB	II85	20,2	21,1
	II86	24,7	24,6

N° ECHANTILLONS	DEB x_a	D'HOORE x_b
CB 924	16,1	17,6
II53	18,0	17,6
CC 92	18,1	16,6
93	21,3	21,4
94	23,3	22,7
I43	18,0	18,5
342	17,0	17,9
343	20,9	20,5
653	20,5	19,2
CE 64	25,9	25,9
<hr/>		
n = 36	743,4	729,7

n = Nombre de résultats dans chaque série.

x_a = Résultats individuels DEB

x_b = Résultats individuels d'HOORE

T_1 = Somme des résultats DEB = $\sum (x_a)$

T_2 = Somme des résultats d'HOORE = $\sum (x_b)$

\bar{x}_a = Résultat moyen DEB

\bar{x}_b = Résultat moyen D'HOORE

y = Terme correctif = $\frac{(T_1 + T_2)^2}{2n}$

D'où

$$n = 36$$

$$T_1 = \sum (x_a) = 1.743,4$$

$$T_2 = \sum (x_b) = 729,7$$

$$\bar{x}_a = \frac{743,4}{36} = 20,65$$

$$\bar{x}_b = \frac{729,7}{36} = 20,27$$

$$\sum (x_a^2) = 15.756,58$$

$$\sum (x_b^2) = 15.220,53$$

$$T_1^2 = 552.643,56$$

$$T_2^2 = 532.462,09$$

$$T_1^2 + T_2^2 = 1.085.105,65$$

Terme correctif :

$$y = \frac{(T_1 + T_2)^2}{2n} = \frac{(1473,1)^2}{72} = \underline{30.139,21}$$

Variation totale :

$$A = \sum (x_a^2) + \sum (x_b^2) - y$$

$$A = (15.756,58 + 15.220,53) - 30.139,21 = \underline{837,90}$$

Variation des traitements ou variation entre les séries :

$$B = \frac{T_1^2 + T_2^2}{n} - y = \frac{1.085.105,65}{36} - 30.139,21 = \underline{2,61}$$

Le nombre de degrés indépendants étant 1 la variance des traitements est

$$Vt = B = 2,61$$

Variation de l'erreur expérimentale ou variation incluse dans les séries :

$$A - B = 837,90 - 2,61 = \underline{835,29}$$

Le nombre de degrés indépendants étant de $2(n-1) = 70$

La variance de l'erreur expérimentale est :

$$Ve = \frac{835,29}{70} = \underline{11,93}$$

Erreur type de la différence σ_d :

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{2 \times 11,93}{36}} = \sqrt{0,662778} = \underline{0,814}$$

Dans cette population encore le nombre des échantillons étant supérieur à 30 la différence "d" entre leurs moyennes respectives est significative si elle est supérieure ou égale à 2 fois son erreur type "I6"

$$\text{Soit } d \geq 2 \sigma_d$$

La plus petite différence significative "d" entre les moyennes est égale à :

$$"d" = 2 \sigma_d = 0,814 \times 2 = \underline{1,628}$$

La différence entre les moyennes est de :

$$20,65 - 20,27 = 0,38$$

La différence entre les moyennes étant inférieure à la plus petite différence significative les deux méthodes DEB et d'HOORE pour les valeurs de Fer libre allant de 15% à 29% conduisent encore à des résultats identiques.

CONCLUSION - On peut donc dire pour ces deux populations comprenant des valeurs de fer libre allant de 4% à 29%, que les deux méthodes DEB et D'HOORE sont identiques.

Il apparaît intéressant après cette comparaison sur l'ensemble des échantillons d'une population de choisir 3 échantillons de teneur en fer libre, faible, moyenne et forte parmi les résultats obtenus et de faire 10 répétitions pour chacun afin de justifier de l'identité, des 2 méthodes et de comparer leur fidélité.

TABLEAU I

a/- COMPARAISON DES RESULTATS MOYENS (avec la première répétition : teneur en Fer libre faible : 7% environ) "I7"

ECHANTILLON NR I2

Fe₂O₃ %

REPETITIONS	DEB x_a	D'HOORE x_b	x_a^2	x_b^2
I	6,85	7,10	46,92	50,41
2	6,85	6,78	46,92	45,97
3	6,85	6,78	46,92	45,97
4	6,85	6,78	46,92	45,97
5	6,85	6,63	46,92	43,96
6	6,70	7,39	44,89	54,61
7	6,70	6,48	44,89	41,99
8	7,01	6,78	49,14	45,97
9	6,85	6,63	46,92	43,96
10	7,01	6,94	49,14	48,16
<u>n = 10</u>	<u>68,52</u>	<u>68,29</u>	<u>469,58</u>	<u>466,97</u>

$$T_1 = \text{Somme des résultats DEB} = \sum(x_a) = 68,52$$

$$T_2 = \text{Somme des résultats d'HOORE} = \sum(x_b) = 68,29$$

$$\bar{x}_a = \text{Résultat moyen DEB} = 6,852$$

$$\bar{x}_b = \text{Résultat moyen D'HOORE} = 6,829$$

$$\begin{aligned} \sum x_a^2 + \sum x_b^2 &= 936,55 & \sum x_a^2 &= 469,58 ; \sum x_b^2 = 466,97 \\ \sum [(x_a - \bar{x}_a)^2] &= 0,0992 \\ \sum [(x_b - \bar{x}_b)^2] &= 0,6113 \\ d = (\bar{x}_a - \bar{x}_b) &= 0,023 \end{aligned}$$

Terme correctif :

$$y = \frac{(T_1 + T_2)^2}{2n} = \frac{(68,52 + 68,29)^2}{10 \times 2} = 935,85$$

Somme des carrés des écarts : Variation totale

$$A = [\sum (x_a^2) + \sum (x_b^2)] - y = 936,55 - 935,85 = \underline{0,70}$$

Nombre de degrés indépendants

$$(10 \times 2) - 1 = 19$$

Variance totale

$$VT = \frac{A}{2n-1} = \frac{0,70}{19} = 0,037$$

Variation des traitements : Variation entre les séries :

$$B = \frac{T_1^2}{10} + \frac{T_2^2}{10} - y = \frac{(68,52)^2}{10} + \frac{(68,29)^2}{10} - 935,85$$

$$B = 0,004$$

Le nombre de degrés indépendants étant de 1, la variance des traitements

$$Vt = B = 0,004$$

Variation de l'erreur expérimentale : Variation incluse dans les séries :

$$A - B = 0,70 - 0,004 = 0,696$$

Nombre de degrés indépendants = $2(10-1) = 18$

Variance de l'erreur :

$$Ve = \frac{0,696}{18} = \underline{0,0387}$$

Différence des moyennes

$$d = 6,852 - 6,829 = \underline{0,023}$$

Ecart-type de la différence

$$\begin{aligned} \sigma_d &= \sqrt{\frac{2Ve}{n}} = \sqrt{\frac{0,0774}{10}} = \sqrt{0,00774} = \underline{\pm 0,088} \\ t \text{ exp} &= \frac{d}{\sigma_d} = \frac{0,023}{0,088} = \underline{0,261} \end{aligned}$$

La table de FISCHER donne pour

$$N = 18 \quad \text{et} \quad P = 0,05 \quad t = 2,101$$

Du fait que $t_{\text{exp}} = 0,261$ est inférieur à t de la table de FISCHER, la différence des moyennes n'est pas, significative et il s'en suit que les deux méthodes conduisent à des résultats identiques.

b/- Comparaison des Fidélités "I7"

Etant donnés des résultats moyens identiques il est toujours possible d'affecter un résultat donné d'un terme correctif. Mais si on a à choisir l'une ou l'autre méthode on sera conduit à adopter celle dont les résultats présentent la meilleure reproductibilité autrement dit celle qui est la plus précise la plus fidèle.

D'où

Pour un même échantillon : NR I2

- 10 dosages de fer libre ont été effectués en appliquant la méthode DEB (n_1)

$$\text{Pour } \bar{x}_a = 6,852$$

La variance de cette série de résultats est :

$$V_a = \frac{\sum (x_a - \bar{x}_a)^2}{n-1} = \frac{0,0992}{9} = 0,0110$$

- 10 dosages ont été effectués en appliquant la méthode d'HOORE (n_2)

$$\text{Pour } \bar{x}_b = 13,664$$

La variance de cette série de résultats est :

$$V_b = \frac{\sum (x_b - \bar{x}_b)^2}{n-1} = \frac{0,6113}{9} = 0,0679$$

$$F_{\text{exp}} = \frac{V_b}{V_a} = \frac{0,0679}{0,0110} = 6,17$$

D'après la table F de SNEDECOR pour une probabilité $P = 0,05$ et pour $n_1 =$

$$n_1 = n_2 = 10 \quad F = 2,97$$

Du fait que F_{exp} est supérieur à F de la table, la différence est significative.

D'autre part V_a étant inférieur à V_b la méthode A ou celle de DEB est plus précise, plus fidèle et par conséquent présente une meilleure reproductibilité que la méthode d'HOORE.

c/- Calcul des erreurs "I7"

Le degré de reproductibilité est exclusivement fonction des erreurs accidentelles qu'il faut bien se garder de confondre avec l'erreur systématique qui mesure l'exactitude ou degré de justesse.

Les erreurs systématiques sont indépendantes du hasard et se produisent toujours dans le même sens. Elles peuvent être annulées par des termes correctifs. C'est le cas par exemple des essais à blanc.

Les erreurs accidentelles par contre, ont lieu dans les deux sens(±) avec une probabilité égale. Elles peuvent être atténuées, mais jamais annulées. Toutes les erreurs accidentelles sont calculables directement. La méthode statistique donne une valeur réelle de l'erreur, avec une certaine probabilité et conduit à une véritable normalisation des conclusions.

L'écart type caractérise la précision d'un résultat isolé et l'écart moyen la précision d'une méthode analytique.

Calculons l'écart moyen ou erreur type de chacune des 3 séries de répétitions avec une plus grande précision que précédemment

D'où

C-1/ Pour la méthode DEB

$$\bar{x}_a = \text{Résultat moyen DEB} = \frac{\sum x_a}{n} = 6,852$$

La variance pour un nombre de degrés indépendants de $n - 1 = 9$ est de :

$$v = \frac{\sum (x_a - \bar{x}_a)^2}{n-1} = 0,0110$$

L'écart-type est de :

$$s = \sqrt{v} = \sqrt{0,0110} = \pm 0,1046$$

L'écart moyen ou erreur type est de :

$$s_m = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0,1046}{\sqrt{10}} = \pm 0,0330$$

Pour $P = 0,05$; $n = 9$; t de FISCHER = 2,262

L'erreur relative est donc de :

$$\frac{100 \cdot s_m \cdot t}{\bar{x}_a} = \frac{100 \times 0,0330 \times 2,262}{6,852} = \pm 1,09 \%$$

C-2/ Pour la méthode d'HOORE

$$\bar{x}_b = \text{Résultat moyen d'HOORE} = \frac{\sum x_b}{n} = 6,829$$

Nombre de degrés indépendants = $n - 1 = 9$

La variance est de :

$$v = \frac{\sum (x_b - \bar{x}_b)^2}{n-1} = \frac{0,6113}{9} = 0,0679$$

L'écart type est de :

$$s = \sqrt{v} = \sqrt{0,0679} = \pm 0,2605$$

L'écart moyen ou erreur type est de :

$$\sigma_m = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0,2605}{\sqrt{10}} = \pm 0,0824$$

Pour 9 degrés indépendants et pour une probabilité de 0,05 t de la table de FISCHER = 2,262

L'erreur relative est donc de :

$$\frac{100 \sigma_t}{\bar{x}_b} = \frac{100 \times 0,0824 \times 2,262}{6,829} = \pm 2,73 \%$$

L'erreur relative %, commise dans la méthode d'HOORE est plus élevée que l'erreur relative % commise dans la méthode DEB. Cette conclusion rejoint la précédente qui fait dire que la méthode DEB est plus précise et plus fidèle que la méthode d'HOORE pour ces 10 répétitions de NR I2.

.../...

TABLEAU II
ECHANTILLON SF IO4

a/- Comparaison des résultats moyens "I7" (deuxième série de répétitions taux en Fer libre moyen soit environ 24,0 ‰)

$\text{Fe}_2 \text{O}_3 \text{ ‰}$

REPETITIONS	DEB x_a	D'HOORE x_b	x_a^2	x_b^2
I	24,28	24,5I	589,52	600,74
2	24, I2	24,20	58I,77	585,64
3	24,28	24,20	589,52	585,64
4	24,28	24,20	589,52	585,64
5	24,28	24,5I	589,52	600,74
6	24,28	23,88	589,52	570,25
7	24,45	24,20	597,80	585,64
8	23,97	24,20	574,56	585,64
9	24,78	24,35	6I4,05	592,92
IO	24,28	24,20	589,52	585,64
<u>n = IO</u>	<u>243,00</u>	<u>242,45</u>	<u>5.905,30</u>	<u>5.878,49</u>

$$T_1 = \sum(x_a) = 243,00 \quad ; \quad \sum x_a^2 = 5.905,30$$

$$T_2 = \sum(x_b) = 242,45 \quad ; \quad \sum x_b^2 = 5.878,49$$

$$\bar{x}_a = 24,300 \quad = \bar{x}_b = 24,2 + 5$$

$$\sum x_a^2 = \sum x_b^2 = 11.783,79$$

$$\sum (x_a - \bar{x}_a)^2 = 0,3970 \quad \sum (x_b - \bar{x}_b)^2 = 0,2966$$

$$d = \bar{x}_a - \bar{x}_b = 0,056$$

Terme correctif :

$$y = \frac{(T_1 + T_2)^2}{2n} - \frac{(243,0 + 242,45)^2}{10 \times 2} = 11.783,0851$$

Variation totale : Somme des carrés des écarts.

$$A = \left[\sum (x_a^2) + \sum (x_b^2) \right] - y$$

$$A = (5.905,30 + 5.878,49) - 11.783,08 = 0,71$$

Nombre de degrés indépendants

$$(10 \times 2) - 1 = 19$$

Variance totale :

$$\frac{0,71}{19} = 0,0374$$

Variation des traitements : variation entre les séries

$$B = \frac{T_1^2 + T_2^2}{n} - y = \frac{(243,00)^2 + (242,45)^2}{10} - 11.783,08 = 0,02$$

Le nombre de degrés indépendants étant de 1, la variance des traitements

$$V_t = B = 0,07$$

Variation de l'erreur expérimental : Variation incluse dans les séries

$$A - B = 0,71 - 0,02 = 0,69$$

Nombre de degrés indépendants : $2(n - 1) = 18$

Variance de l'erreur :

$$V_e = \frac{A - B}{2(n-1)} = \frac{0,69}{18} = 0,0383$$

Différence des moyennes :

$$d = \bar{x}_a - \bar{x}_b = 24,300 - 24,245 = 0,055$$

Ecart-type de la différence

$$\sqrt{d} = \sqrt{\frac{2V_e}{n}} = \sqrt{\frac{0,0766}{10}} = \sqrt{0,0077} = 0,087$$

$$t_{\text{exp}} = \frac{d}{\sqrt{d}} = \frac{0,055}{0,087} = 0,63$$

La table de FISCHER donne pour $N = 18$ et $P = 0,05$

$$t = 2,101$$

Du fait que t_{exp} est inférieur à t de la table de FISCHER, la différence des moyennes n'est pas significative et il s'en suit que les deux méthodes conduisent à des résultats identiques.

b/- Comparaison des Fidélités "I7"

Pour un même échantillon : SF IO4

- 10 dosages de fer libre ont été effectués en appliquant la méthode DEB (A).

Pour $\bar{x}_a = 24,300$

La variance de cette série de résultats est de

$$V_a = \frac{\sum (x_a - \bar{x}_a)^2}{n-1} = \frac{0,3970}{9} = 0,0441$$

- 10 dosages ont été également effectués en appliquant la méthode d'HOORE (B)

$$\text{Pour } \bar{x}_b = 24,245$$

La variance de cette série de résultats est de :

$$v_b = \frac{(x_b - \bar{x}_b)^2}{n-1} = \frac{0,2966}{9} = 0,0329$$

$$F \text{ exp} = \frac{v_a}{v_b} = \frac{0,0441}{0,0329} = \underline{1,34}$$

Pour une probabilité de 0,05 et pour $n_1 = n_2 = 10$ la table de SNEDECOR donne $F = 2,97$.

Du fait que $F \text{ exp}$ est inférieur à F de la table la différence n'est pas significative. Les deux méthodes pour cette population semblent avoir la même fidélité.

Mais d'HOORE ayant la variance la plus faible présenterait une meilleure reproductibilité.

0/- Calcul des erreurs accidentelles

C-1/ Pour la méthode DEB

$$\bar{x}_a = \text{résultat moyen DEB} = \frac{x_a}{n} = 24,300$$

Nombre de degrés indépendants :

$$n - 1 = 9$$

La variance est de :

$$v_a = \frac{\sum (x_a - \bar{x}_a)^2}{n-1} = 0,0441$$

L'écart type est de :

$$\sigma = \sqrt{v_a} = \sqrt{0,0441} = \pm 0,21$$

L'écart moyen ou erreur type est de :

$$\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0,21}{\sqrt{10}} = \pm 0,0664$$

Pour une probabilité $P = 0,05$ et un nombre de degrés indépendants de $n - 1 = 9$ la table de FISCHER donne $t = 2,262$

L'erreur relative est donc de :

$$\frac{100 \sigma_m t}{x_a} = \frac{100 \times 0,0664 \times 2,262}{24,30} = \pm 0,62 \%$$

C-2/- Pour la méthode D'HOORE :

$$\bar{x}_b = \text{résultat moyen D'HOORE} = \frac{\sum x_b}{n} = 24,245$$

Nombre de degrés indépendants : $n - I = 9$

La variance est de :

$$v_b = \frac{\sum (x_b - \bar{x}_b)^2}{n-I} = \frac{0,2966}{9} = 0,0329$$

L'écart-type est de : $\sigma = \sqrt{v_b} = \sqrt{0,0329} = \pm 0,181$

L'écart moyen ou erreur type est de :

$$\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0,181}{\sqrt{10}} = \pm 0,0572$$

$$P = 0,05 \quad , \quad N = 9 \quad \text{F ou t} = 2,262$$

$$\text{L'erreur relative est de : } \frac{100 \sigma_m t}{\bar{x}_b} = \frac{100 \times 0,0572 \times 2,262}{24,245} = \pm 0,53 \%$$

Dans cette série de répétitions pour SF 104 = 24,3 % de fer libre, on peut dire que l'erreur relative est la même pour les deux méthodes quoique celle commise dans la méthode D'HOORE est un peu plus petite. Cette conclusion rejoint encore la précédente sur la comparaison des Fidélités.

TABLEAU III

ECHANTILLON CA 134

a/ Comparaison des résultats moyens "I7" (troisième série de répétitions taux élevé de Fer libre)

Fe₂O₃ %

REPETITIONS	DEB	d'HOORE	x_a^2	x_b^2
I	47,82	50,90	2.286,72	2.590,81
2	47,82	50,29	2.286,75	2.529,08
3	47,82	49,98	2.286,75	2.498,00
4	45,91	50,29	2.107,73	2.529,08
5	47,02	51,52	2.210,88	2.654,31
6	46,87	49,68	2.196,80	2.468,10
7	48,45	49,37	2.347,40	2.437,40
8	47,82	49,37	2.286,75	2.437,40
9	48,45	50,59	2.347,40	2.559,35
10	45,91	51,52	2.107,72	2.654,31
<u>n = 10</u>	<u>473,89</u>	<u>503,51</u>	<u>22.464,93</u>	<u>25.357,84</u>

$$T_1 = \sum (x_a) = 473,89 \quad ; \quad \sum x_a^2 = 22.464,93$$

$$T_2 = \sum (x_b) = 503,51 \quad \sum x_b^2 = 25.357,84$$

$$\bar{x}_a = 47,389 \quad ; \quad \bar{x}_b = 50,351$$

$$\sum x_a^2 + \sum x_b^2 = 47.822,77$$

$$\sum \left(\frac{x_a}{\bar{x}_a} - \frac{\bar{x}_a}{\bar{x}_a} \right)^2 = 7,7749$$

$$\sum \left(\frac{x_b}{\bar{x}_b} - \frac{\bar{x}_b}{\bar{x}_b} \right)^2 = 5,6117$$

$$d = \bar{x}_a - \bar{x}_b = -2,962 \quad ; \quad T_1 + T_2 = 977,40$$

Terme correctif :

$$y = \frac{(T_1 + T_2)^2}{2n} = \frac{(473,89 + 503,51)^2}{20} = 47.765,54$$

Variation totale :

$$A = \sum(x_a^2) + \sum(x_b^2) - y = 47.822,77 - 47.765,54 = \underline{57,23}$$

Nombre de degrés indépendants

$$2n - I = I9$$

Variance totale :

$$v^T = \frac{57,23}{I9} = \underline{3,0I2}$$

Variation des traitements : variation entre les séries.

$$B = \frac{T_1^2}{n} + \frac{T_2^2}{n} - y = \frac{(473,89)^2}{10} + \frac{(503,51)^2}{10} - 47.565,54 = \underline{43,87}$$

Le nombre de degrés indépendants étant de I

La variance des traitements est égale à B.

$$Vt = \underline{43,87}$$

Variation de l'erreur expérimentale : Variation incluse dans les séries :

$$A - B = 57,23 - 43,87 = \underline{I3,36}$$

Nombre de degrés indépendants

$$2(I0 - I) = I8$$

Variance de l'erreur :

$$Ve = \frac{I3,36}{I8} = 0,7422$$

Différence des moyennes :

$$50,35I - 47,389 = 2,962$$

Ecart-type de la différence

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{2 Ve}{n}} = \sqrt{\frac{I,4844}{I0}} = 0,385$$

$$t_{\text{exp}} = \frac{d}{\sigma_d} = \frac{2,962}{0,385} = \underline{7,69}$$

P = 0,05, N = I8, la table de FISCHER donne F = 2,IOI

Du fait, que t exp est supérieur au t de la table la différence des moyennes est significative, il s'en suit que les 2 méthodes conduisent, dans cette série, de répétitions pour une valeur de fer libre assez élevée, à des résultats différents.

b/ Comparaison des Fidélités "I7"

Ici les résultats moyens ne sont pas statistiquement identiques. Mais si l'on a à choisir l'une ou l'autre méthode on sera conduit à adopter celle qui est la plus fidèle.

D'où pour un même échantillon CA I34

- 10 dosages de fer libre ont été effectués en appliquant la méthode DEB (A).

$$\text{Pour } \bar{x}_a = 47,389$$

La variance de cette série de résultats est de :

$$v_a = \frac{\sum (x_a - \bar{x}_a)^2}{n-1} = 0,8639$$

- 10 dosages de fer libre ont été effectués en appliquant la méthode D'HOORE (B).

$$\text{Pour } \bar{x}_b = 50,351$$

La variance de cette série de résultats est de

$$v_b = \frac{\sum (x_b - \bar{x}_b)^2}{n-1} = 0,6235$$

$$F \text{ exp} = \frac{v_a}{v_b} = \frac{0,8639}{0,6235} = 1,38$$

Pour une probabilité $P = 0,05$ et pour $n_1 = n_2 = 10$ la table de SNEDECOR donne $F = 2,97$.

Du fait que $F \text{ exp}$ est inférieur à F de la table la différence n'est pas significative. Les deux méthodes DEB et D'HOORE semblent avoir la même fidélité pour cette série de répétitions.

Mais d'HOORE ayant la variance la plus faible présenterait la meilleure reproductibilité.

c/ Calcul des erreurs accidentelles "I7"

C-1/- Pour la méthode DEB

$$\bar{x}_a = \text{résultat moyen DEB} = \frac{\sum x_a}{n} = 47,389$$

Nombre de degrés indépendants $n - 1 = 9$

La variance est de :

$$v_a = \frac{\sum (x_a - \bar{x}_a)^2}{n-1} = 0,8639$$

L'écart type est de :

$$s = \sqrt{v_a} = \sqrt{0,8639} = \pm 0,929$$

L'écart moyen ou erreur type est de :

$$s_m = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0,929}{\sqrt{10}} = \pm 0,2938$$

Pour une probabilité $P = 0,05$ et un nombre de degrés indépendants de $n - I = 9$ la table de FISCHER donne $t = 2,262$

L'erreur relative est donc de :

$$\frac{100 \sigma_m t}{\bar{x}_a} = \frac{100 \times 0,2938 \times 2,262}{47,389} = \pm 1,40\%$$

C-2/ Pour la méthode d'HOORE

$$\bar{x}_b = \text{résultat moyen D'HOORE} = \frac{\sum x_b}{n} = 50,351$$

Nombre de degrés indépendants

$$n - I = 9$$

La variance est de :

$$v_b = \frac{\sum (x_b - \bar{x}_b)^2}{n-I} = 0,6235$$

L'écart type est de :

$$\sigma = \sqrt{v_b} = \sqrt{0,6235} = 0,789$$

L'écart moyen ou erreur type est de :

$$\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0,789}{\sqrt{10}} = 0,2495$$

Pour $P = 0,05$; $n = 9$ t de FISCHER = 2,262

L'erreur relative est donc de :

$$\frac{100 \sigma_m t}{\bar{x}_b} = \frac{100 \times 0,2495 \times 2,262}{50,351} = \pm 1,12\%$$

Dans cette troisième série de 10 répétitions d'un échantillon dont la teneur en fer libre est assez élevée, la méthode d'HOORE a une erreur relative un peu plus petite que celle de DEB $\pm 1,12\%$ contre $\pm 1,40\%$. Mais la différence n'est pas très grande. Ce qui, rejoint la conclusion précédente.

CONCLUSION :

Dans les deux populations comprenant des sols faiblement ferrallitiques et ferrugineux tropicaux les deux méthodes DEB et D'HOORE donnent statistiquement des résultats dont la différence entre les moyennes est inférieure à la plus petite différence significative. Ces deux méthodes sont par le fait même identiques pour les valeurs de fer libre faibles et moyennes allant de 4% à 29%.

Pour les teneurs en fer libre plus élevées, si on considère les résultats obtenus par la série de répétitions faite sur un même échantillon CA 134, les deux méthodes ne sont pas statistiquement identiques et la méthode D'HOORE semble accuser des résultats supérieurs à la méthode DEB.

Dans la comparaison des difélités et le calcul des erreurs accidentelles la première série de 10 répétitions faite par NRI2 la méthode DEB semble plus fidèle que la méthode D'HOORE avec une erreur relative de $\pm 1,09\%$ pour la première contre $\pm 2,73\%$ pour la deuxième.

Cette différence observée entre les deux méthodes s'expliquerait peut être par le fait que NR I2 étant un horizon accusant 3% de carbone total, la matière organique pas complètement détruite dans la méthode D'HOORE influencerait sur le taux de $Fe_2 O_3$ libre qui est assez faible soit de l'ordre de 7% .

Dans la deuxième et troisième série de répétitions de teneurs en fer libre moyennes et élevées, les deux méthodes ont statistiquement la même fidélité, et l'erreur relative est de $\pm 0,53\%$ pour la méthode DEB contre $\pm 0,62\%$ pour la méthode D'HOORE dans le premier cas et $1,12\%$ contre $1,40\%$ dans le deuxième cas.

La moyenne des erreurs relatives pour les trois répétitions est de $\pm 1,04\%$ pour la méthode DEB et $\pm 1,46\%$ pour la méthode d'HOORE.

On peut donc terminer en disant que les deux méthodes conduisent à des résultats identiques sauf pour les teneurs très élevées de fer libre. Elles ont par ailleurs même précision et la même reproductibilité sauf peut être pour les échantillons riches en matière organique et pauvres en fer libre où la méthode DEB semblerait plus précise.

Au point de vue rapidité d'exécution la méthode d'HOORE demande moins de temps que la méthode DEB pour un même nombre d'échantillons.

Soit par exemple pour analyser 50 échantillons avec des installations nécessaires on mettrait 3 à 4 jours par la méthode D'HOORE tandis qu'avec la méthode DEB on mettrait au moins 10 jours, l'attaque et l'évaporation étant très longues.

Ceci est très important à connaître surtout dans les laboratoires à grandes séries comme le nôtre à HANN.

III.- INTERPRETATION DU RAPPORT FER LIBRE/FER TOTAL

Je n'ai pas la prétention de faire ici une véritable interprétation car ceci est le domaine exclusif du pédologue qui a été sur le terrain et qui est le seul possesseur de la description détaillée des profils.

Je me bornerai donc à une simple observation de ce qui se passe, avec les résultats analytiques obtenus, dans chaque profil d'un même type de sols et dans les ferrugineux tropicaux comme dans les faiblement ferrallitiques

I° / FER TOTAL

Comme on peut le deviner c'est tout le fer contenu dans le sol. Il comprend aussi bien le fer sous forme mobile que le fer sous forme de réserve dans les minéraux (argiles, feldspath, amphibole et mica).

I-I Description de la méthode analytique

a/ Principe "I5"
.....

Le fer est extrait par HCl pur à ébullition; par passage sur une colonne d'argent, il est amené, à l'état de Fe++ et immédiatement dosé par le permanganate. La méthode est précise, rapide et très adaptée aux dosages en grande série.

b/ Réactifs nécessaires :
.....

- HCl pur
- Liqueur de REINHARDT : H₂O - 600 cc
SO₄H₂ - pur 130 cc
PO₄H₃ - pur 138 cc
SO₄M_n - 51 g.
Eau q s q : 1 litre.

Cette quantité de liqueur est suffisante pour 100 échantillons.

- Solution sulfurique à 5%
- Argent pur en grain ou NO₃ Ag pur
- Permanganate 0,05 N (titrisol)

c/ Matériel nécessaire :
.....

Pour une série de 50 échantillons :

- 1 burette automatique de 50 ml
- 50 erlenmeyers de 100 ml
- 50 entonnoirs tige courte ϕ : 45 mm/m
- 50 boules de verre pour la condensation des vapeurs.
- 50 entonnoirs tige courte ϕ : 70 mm/m
- 50 fioles jaugées de 150 ml.
- 1 verseau de 30 ml
- 1 erlenmeyer de 5 l. pour chauffer de l'eau distillée.
- 1 pipette de précision de 10 ml.
- 1 pipette de précision de 25 ml.
- 1 pipette de précision de 50 ml.
- 1 verseau de 10 ml.
- 50 erlenmeyers de 500 ml.
- 1 colonne de JOHN
- 2 ou 3 bains de sable ou plaques chauffantes à température réglable
- 1 bec de gaz
- 1 balance et 1 main
- 1 rampe à filtration
- Du papier filtre ordinaire
- 1 pissette.
- 1 agitateur magnétique avec des barreaux aimantés.

d/- Préparation du réducteur à l'argent
.....

Dans un bécher de 600 ml. dissoudre 80 g. de nitrate d'argent dans 400 ml. d'eau distillée. Ajouter 5 gouttes d'acide nitrique. Dans cette solution tremper une lame de cuivre dont la largeur est un peu inférieure au diamètre du bécher et agiter lentement. L'argent se dépose et forme des granules. Retirer la lame de temps en temps avec un agitateur pour en détacher l'argent. Lorsque l'argent ne précipite plus, décantier, rincer 2 ou 3 fois par décantation avec $\text{SO}_4 \text{H}_2$ 5% et faire passer dans la colonne.

La hauteur du réducteur dans la colonne doit être d'environ 10 cm.

Au fur et à mesure des dosages, l'argent noircit en commençant par le haut.

Lorsque plus de la moitié est oxydée on régénère simplement par l'ammoniaque au 1/5.

e/- Mode opératoire "I5"
.....

- Peser 5 g de terre passée au tamis de 2m/m et bien homogénéisée.
- Mettre dans une fiole de 100 cc qui sera surmontée ensuite d'un entonnoir 0/ 45m/m contenant une boule de verre.
- Attaquer par 30 cc HCl pur, à ébullition pendant 2 heures sur bain de sable ou sur plaques chauffantes à température réglable (pour obtenir une bonne ébullition sans amener le jus à sec).
- filtrer sur papier filtre courant et laver à l'eau chaude.
- Ajuster à 150 ml. dans une fiole jaugée de 150 ml. Homogénéiser le filtrat obtenu et prélever une partie aliquote suivant la nature des sols soit 25 ml. ou 50 ml.
- Mettre dans un erlenmeyer de 100 ml. Passer dans la colonne de JOHN.
- Recevoir dans un erlenmeyer de 500 ml. contenant 10 ml. de liqueur de REINHARDT .
- Rincer l'erlenmeyer de 100 ml. et la colonne par passage de 2 ou 3 fois de 100 ml. environ de la solution sulfurique à 5%.
- Doser immédiatement par MnO_4 k 0,05 N.

Le temps de passage d'une fraction de 100 ml. est d'environ 2 minutes.

Calculer :

$$1 \text{ cc } MnO_4 K 0,05 N = 2,8 \text{ mg Fe.}$$

Soit : ccu = nombre de cc $MnO_4 K 0,05 N$ utilisé

Pour une prise d'essai de 5 g. et de 50 cc/150 cc. :

$$Fe \% = ccu \times \frac{2,8 \times 150 \times 1000}{1000 \times 50 \times 5} = ccu \times 1,68$$

$$Fe_2O_3 \% = Fe \% \times 1,4285.$$

f/- Etalonnage : Sur 6 échantillons : différence entre les extrêmes :
0,1 cc $MnO_4 K N/20$

Fe introduit : 40,8 mg Fe

Fe trouvé : 40,4 mg.

Erreur relative 1%

I-2 Résultats analytiques

- Sols ferrugineux tropicaux à concrétions :
(CASAMANCE-SENEGAL).

ECHANTILLONS	PROFONDEUR	Fe ₂ O ₃ total ³ %	
CB II80	0 - 10cm	12,0	
II81	10 - 30cm	12,7	
II82	30 - 40cm	14,5	taches
II83	55 - 65cm	13,1	taches
II84	90 - 100cm	18,4	concrétions
II85	130 - 150cm	30,5	"
II86	200 - 220cm	34,5	"
S20	0 - 10cm	13,4	
921	10 - 25cm	15,1	
922	25 - 35cm	17,0	rare taches
923	50 - 60cm	21,1	taches
924	75 - 90cm	25,4	concrétions
II50	0 - 10cm	13,4	
II51	30 - 40cm	13,6	
II52	70 - 80cm	16,4	
II53	120cm	26,1	concrétions
II60	0 - 10cm	11,7	
II61	20 - 30cm	13,6	taches
II62	60 - 70cm	15,1	taches
II63	120 - 130cm	19,7	concrétions
CE 60	0 - 10cm	12,7	
61	20 - 30cm	15,1	taches
62	50cm	16,3	taches
64	100cm	31,7	concrétions
CC I40	0 - 10cm	11,0	
I41	20 - 30cm	13,4	
I42	40 - 50cm	14,1	
I43	90 - 100cm	25,8	concrétions
90	0 - 10cm	12,9	
91	35 - 50cm	17,7	
92	70 - 80cm	23,5	
93	100 - 110cm	28,3	taches
94	150 - 160cm	29,3	concrétions
95	210 - 230cm	35,5	concrétions
96	300 cm	40,8	concrétions
97	450 cm	92,6	concrétions

CC 341	0 - 10cm	20,1	concrétions
342	35 - 45cm	23,7	
343	70 - 85cm	26,4	
344	120 - 140cm	36,0	
650	0 - 10cm	9,5	concrétions
651	30 - 40cm	12,5	
652	55 - 70cm	16,0	
653	90 - 100cm	27,3	

SOLS ROUGES FAIBLEMENT FERRALLITIQUES PROFONDS
(CASAMANCE - SENEGAL)

ECHANTILLONS	PROFONDEUR	Fe ₂ O ₃ total %	
CA 91	0 - 3 cm	10,8	
92	3 - 15cm	11,0	
93	20cm	11,3	
94	50cm	15,6	
95	85cm	22,8	
96	160cm	24,9	
97	210cm	28,5	
III	0 - 4 cm	9,8	
II2	4 - 15 cm	10,8	
II3	15 - 25cm	10,5	
II4	25 - 55 cm	15,3	
II5	80 - 90 cm	21,3	
II6	125 - 140cm	23,0	
II7	220 - 230cm	23,5	
II8	300cm	26,1	
I0	0 - 4 cm	9,6	
I1	4 - 16cm	9,3	
I2	16 - 28cm	9,8	
I3	28 - 45cm	14,6	
I4	60 - 75cm	25,4	
I5	100 - 110cm	22,8	
I6	150 - 160cm	21,1	
I7	200 - 210cm	21,6	
I8	250 - 260cm	21,8	
I9	300 - 310cm	23,0	
I9a	410 - 435cm	26,9	
I9b	480 - 500cm	30,2	
I9c		31,7	
I9d		32,1	
I30b	2 - 10cm	11,7	
I30c	10 - 20cm	12,7	
I30d	20 - 30cm	12,0	
I31	50 cm	21,8	

ECHANTILLONS	PROFONDEUR	Fe ₂ O ₃ total ³ %	
CA I32	200 cm	33,6	
I33	450 cm	41,0	
I34	630 cm	60,7	
I35	750 cm	82,1	
I36	950 cm	15,3	
I37	1100 cm	39,6	
I38	1360 cm	9,6	
NR II	0 - 10cm	10,3	
I2	10 - 30cm	10,3	
I3	40 - 60cm	13,6	
I4	100 - 120cm	18,2	
I5	220 - 240cm	17,2	
I6	300 - 320cm	18,0	
I7	400 - 420cm	22,3	
21	0 - 10 cm	10,5	
22	10 - 20 cm	12,4	
23	40 - 60cm	13,2	
24	100 - 120cm	20,1	
25	220 - 310cm	21,8	
26	440 - 460cm	22,1	
SF I01	0 - 7 cm	12,2	} type de transi- tion aux ferru- gineux.
I02	10 - 20cm	15,3	
I03	40 - 50cm	28,1	
I04	75 - 85cm	29,3	
I05	130 - 140cm	50,9	
SF I06	190 - 200 cm	27,9	}
I07	245cm	38,9	

2°/- RAPPORT FER LIBRE/FER TOTAL

Plus ce rapport est élevé plus la mobilité du fer est grande ou peut être grande.

Dans le cas contraire il y a une immobilisation qui se manifeste avec toutes ses conséquences (formation de taches, concrétions, cuirasses).

Les deux méthodes d'analyse du fer libre DEB et D'HOORE, étant statistiquement identiques, on peut choisir l'une ou l'autre pour le rapport fer libre/fer totale. La méthode DEB accusant une erreur relative un peu plus petite je la préfère ici.

2-I Dans les sols ferrugineux tropicaux :

ECHANTILLONS	Fer libre	Fer total	Fer libre
	DEB ‰	‰	Fer total ‰
<u>CB II</u>			
II80	4,3	12,0	36
II81	4,9	12,7	40
II82	6,3	14,5	43
II83	4,8	13,1	37
II84	11,1	18,4	60
II85	20,2	30,5	66
II86	24,7	34,5	72
<u>CB 92</u>			
920	8,7	13,4	65
921	9,4	15,1	62
922	11,0	17,0	65
923	12,7	21,1	60
924	16,1	25,4	63
<u>CBII5</u>			
II50	8,1	13,4	60
II51	9,7	13,6	71
II52	10,5	16,4	64
II53	18,0	26,1	69
<u>CB II6</u>			
II60	6,7	11,7	57
II61	7,8	13,6	57
II62	8,3	15,1	55
II63	10,7	19,7	54
<u>CE 6</u>			
60	7,9	12,7	62
61	8,6	15,1	57
62	8,9	16,3	55
64	25,9	31,7	82
<u>CC I4</u>			
I40	6,2	11,0	56
I41	9,4	13,4	70
I42	9,7	14,1	69
I43	18,0	25,8	70

ECHANTILLONS	Fer libre	Fer total	Fer libre
	DEB ‰	‰	Fer total ‰
<u>CC 9</u>			
90	8,9	12,9	69
91	11,6	17,7	66
92	18,1	23,5	77
93	21,3	28,3	75
94	23,3	29,3	79
95	29,3	35,5	82
96	32,8	40,8	80
97	65,3	92,6	70
<u>CC34</u>			
341	10,2	20,1	51
342	17,0	23,7	72
343	20,9	26,4	79
344	29,4	36,0	82
<u>CC 65</u>			
650	7,1	9,5	75
651	8,7	12,5	70
652	10,7	16,0	67
653	20,5	27,3	75

Les teneurs en fer libre sont variables et augmentent sensiblement, et progressivement de la surface vers la profondeur.

Dans le profil CB II qui descend à plus de 2m, la teneur en fer libre est de 4,3‰ en surface et de 24,7 ‰ en profondeur. Il en est de même du profil CC9 qui va jusqu'à 4m,5 où elles passent de 8,9 ‰ à 65,3‰. Ce phénomène est remarquable dans tous les autres profils, dont, la profondeur moyenne est de 1m. Sous l'influence de la matière organique qui y est assez importante et une pluviométrie assez grande il y aurait probablement une individualisation marquante du fer.

- Les teneurs en fer total varient également dans le même sens.

- la différence entre le fer total et le fer libre augmente régulièrement avec la profondeur. En effet, dans le profil CB II elle passe de 7,7‰ en surface à 10,3 ‰ à 1m,50 de profondeur. Il en est de même dans les autres profils où elle passe généralement de 5‰ à 8‰, sauf dans le profil CC 34 où on relève le contraire c'est-à-dire 9,9‰ en surface pour 5,5‰ à 90 cm de profondeur.

- Le rapport Fer libre/Fer total est assez variable d'un profil à l'autre.

Dans les profils CB II, CC6, CC I4 et CC 34 il est assez faible en surface (36% à 56%) et augmente progressivement avec la profondeur (72% à 82%). Il y aurait dans ces profils un phénomène manifeste de lessivage et de migration du fer libre, de la surface vers la profondeur.

Par contre dans les profils, CB 92, CB II5, CB II6 et CC 65, le rapport Fer libre/Fer total semblerait constant. Pour prendre un exemple on relève dans le profil CB 92 65% en surface pour 63% en profondeur.

- La moyenne des rapports Fer libre/fer total pour ce type de sols est de 64,68% et paraît plus faible que celle des faiblement ferrallitiques.

Il s'agit bien du rapport fer libre/fer total dans la fraction fine abstraction faite du fer des concrétions qui est cependant un élément de la dynamique. Si on le faisait intervenir ce rapport diminuerait bien dans les ferrugineux tropicaux pour marquer une accumulation.

2-2 Dans les sols rouges faiblement ferrallitiques profonds

ECHANTILLONS	Fer libre DEB ‰	Fer total ‰	<u>Fer libre Fer total</u> %
<u>CA 9</u>			
91	5,6	10,8	52
92	7,1	11,0	65
93	7,8	11,3	69
94	9,8	15,6	63
95	18,3	22,8	80
96	20,7	24,9	83
97	23,9	28,5	84
<u>CA II</u>			
III	6,3	9,8	64
II2	6,5	10,8	60
II3	7,1	10,5	68
II4	11,0	15,3	72
II5	16,1	21,3	75
II6	18,3	23,0	79
II7	18,3	23,5	78
II8	21,5	26,1	82

<u>CA I</u>			
I0	6,3	9,6	66
II	6,3	9,3	68
I2	7,I	9,8	72
I3	10,3	14,6	71
I4	19,9	25,4	78
I5	18,3	22,8	80
I6	15,9	21,I	75
I7	17,5	21,6	81
I8	18,3	21,8	84
I9	18,3	23,0	80
I9 a	22,I	26,9	82
I9 b	26,3	30,2	87
I9 c	25,3	31,7	80
I9 d	27,I	32,I	84
<u>CL I3</u>			
I30 b	7,8	11,7	67
I30 c	9,2	12,7	72
I30 d	8,7	12,0	73
I31	17,5	21,8	80
I32	25,5	33,6	76
I33	33,3	41,0	81
I34	48,I	60,7	79
I35	58,8	82,I	73
I36	11,I	15,3	72
I37	27,4	39,6	69
I38	7,0	9,6	73
<u>NRI</u>			
II	6,2	10,3	60
I2	6,8	10,3	66
I3	10,3	13,6	76
I4	13,5	18,2	74
I5	13,5	17,2	78
I6	14,0	18,0	78
I7	14,5	22,3	65
<u>NR2</u>			
21	7,I	10,5	68
22	8,4	12,4	68
23	9,7	13,2	73
24	13,8	20,I	69
25	18,3	21,8	84
26	18,3	22,I	83
<u>SFIO</u>			
I01	8,I	12,2	66
I02	11,8	15,3	77
I03	22,4	28,I	80
I04	23,9	29,3	82
I05	43,5	50,9	85
I06	30,9	37,9	81
I07	30,3	38,9	78

Dans ce type de sol les teneurs en fer libre augmentent régulièrement de la surface vers la profondeur sauf dans le profil CA I3 où l'augmentation est remarquable jusqu'à 750 cm, de profondeur. A partir de cet horizon la teneur en fer libre baisse brusquement de 58,8‰ à 11,1‰, puis remonte à 27,4‰, pour redescendre à 1360 cm à 7,0‰. Ces horizons correspondent très probablement au matériau originel du Continental Terminal plus ou moins déferrifié (par nappe phréatique ou autres processus).

Il en est de même dans le profil SF IO qui est un type de transition aux ferrugineux tropicaux où cette diminution qui n'est cependant pas très grande se manifeste à partir de 190 cm de profondeur. Cet horizon correspondrait probablement à un niveau d'accumulation ou alors il se pourrait qu'il y ait eu dans les horizons inférieurs un phénomène de lessivage (nappe phréatique ou autres processus).

- Les teneurs en fer libre varient d'un profil à l'autre et avec la profondeur

- Les teneurs en fer total suivent les mêmes variations.

- La différence entre le fer total et le fer libre est presque constante dans tout le profil. Elle est de 4‰ environ sauf dans les profils CA I3 et, SF IO où elle augmente sensiblement en profondeur soit de 4‰ à 23‰ dans l'horizon CA I35 et de 4‰ à 8,7‰ dans le profil SF IO.

Le rapport fer libre/fer total est presque souvent supérieur à 60% et il augmente régulièrement en profondeur pour atteindre 78 à 84%. Cela pourrait prouver qu'il s'agit bien d'une migration du fer mobile dans le profil ou d'une formation de plus en plus importante de pseudosable qui donnerait à ce type de sols une structure poreuse, ce qui est l'un des caractères essentiels des faiblement ferrallitiques.

La moyenne du rapport Fer libre/Fer total est ici de 74,5% plus élevée que dans les ferrugineux tropicaux.

- CONCLUSIONS -

Dans les conditions de température élevée et sous une pluviométrie relativement grande, tel est le cas en Casamance où ces échantillons ont été prélevés, il y aurait dans les sols ferrugineux tropicaux lessivés une forte individualisation et une migration importante du fer traduit par un phénomène de lessivage et une accumulation sous forme de taches et de concrétions; tandis que dans les sols faiblement ferrallitiques il y aurait une migration du fer par suite d'une attaque plus prononcée des minéraux et une désagrégation partielle des silicates mais surtout

une tendance du fer à se fixer sur l'argile avec comme conséquence Fer libre/Fer total très élevé jusqu'à une grande profondeur.

Dans les deux types de sols il y a une exportation réelle du fer qui semblerait plus élevée dans les ferrugineux tropicaux que dans les faiblement ferrallitiques. Cette exportation se traduit par un entraînement des éléments solubilisés en particulier le fer vers les rivières, les marigots, etc... ou par une accumulation dans les bas de pente aboutissant le plus souvent à un cuirassement.

- Au point de vue agronomique on a plutôt intérêt à favoriser la mobilité du fer plutôt que de le laisser s'accumuler pour donner soit des concrétions soit des cuirasses.

Pour la mise en valeur d'une terre, le technicien doit en tenir compte car il se peut que certains modes de cultures amènent à un dessèchement irréversible des oxydes de Fer, en particulier dans les sols faiblement ferrallitiques profonds dont la vocation culturale est en relation avec la couverture forestière. La destruction de la forêt peut modifier l'équilibre du fer et entraîner sa concentration en certaines zones et un début de cuirassement.

3°/- STABILITE STRUCTURALE

3-I Description de la méthode "I5"

a/- Echantillonnage : Il convient de disposer d'une quantité importante de terre (500 g. environ) pour réaliser au mieux l'échantillonnage qui doit être effectué d'une manière standard.

La terre est étendue sur un plateau (30 x 20 cm environ) en une couche homogène de 1 cm, d'épaisseur environ. Le fait de verser la terre conduit à un triage des éléments qu'il convient d'éliminer.

La terre est brassée avec les doigts régulièrement suivant des directions parallèles aux bords du plateau, c'est-à-dire en croix à raison d'un passage dans chaque sens. Les agrégats les plus grossiers qui risquent de s'être accumulés sur les bords du plateau sont rejetés sur le plateau par touches des doigts.

Après, cette opération, la surface doit paraître homogène sinon il faut recommencer et le plateau ne doit plus être secoué pour éviter tout nouveau triage.

Les prélèvements sont faits en plusieurs prises effectuées au hasard sur le

plateau. On compte 5 prises pour les 10 g. nécessaires à l'étude de Is. Il convient de ne pas prélever la seule partie superficielle de la couche de terre : pour chaque prise, la main métallique doit frapper le fond du plateau.

b/- Principe
.....

L'un des facteurs de Is est le pourcentage d'agrégats compris entre 0,2 et 2mm, stables à l'eau avec et sans prétraitement : un prétraitement à l'alcool a, en général, un effet protecteur sur la structure et accroît le taux d'agrégats stables; alors que le benzène a un effet sensibilisateur sauf sur les terres riches en matière organique.

On détermine donc le taux d'agrégats stables :

- α - sans prétraitement (témoin, eau)
- β - après prétraitement à l'alcool
- γ - après prétraitement au benzène

Le pourcentage d'agrégats stables sera la moyenne arithmétique des 3 chiffres obtenus.

- Le second facteur de l'Indice Is est l'aptitude de la terre étudiée à se disperser. On en juge en déterminant la fraction (argile + Limon) maximum, c'est-à-dire dans le cas le plus défavorable, correspondant au maximum d'agrégats stables. Dans la plupart des cas, le chiffre maximum est obtenu avec le prétraitement au benzène, ou parfois au témoin sans prétraitement.

- La totalité des sables grossiers se trouve dans les agrégats et il convient de les retrancher pour obtenir la fraction agrégée proprement dite. Le facteur 0,9 est pris pour tenir compte des variations possibles dans le taux d'éléments grossiers des sols pauvres en sable.

La formule est
$$Is = \frac{(A + L) \text{ maximum}}{\text{Agrégats grossiers} - 0,9 \text{ S.G}}$$

Plus le sol étudié est stable³, plus l'indice Is est faible.

c/ Produits utilisés.
.....

- Alcool éthylique à 90°
- Benzène pur cristallisable.
- Pyrophosphate de Na pour analyse mécanique

d/- Matériel nécessaire
.....

Pour une série de 36 déterminations :

- 54 béchers de 250 ml. F.H.
- 2 verseurs automatiques de 10 ml.
- 2 erlenmeyers de 750 ml.
- 18 capsules en porcelaine ϕ : 70 m/m
- 54 capsules en de verre ϕ : 60m/m ; h : 15m/m
- 3 dessiccateurs
- 18 allonges de 100 ml.
- 1 pipette de Robinson avec son support.
- 1 pipette ordinaire de 10 ml.
- 1 tamis de 0,2 mm. ϕ 10 cm.
- 1 pissette
- 1 cristalliseur ϕ : 150 mm, h : 80 cm.
- 2 capsules ϕ : 170m/m (porcelaine avec bec)
- 1 chronomètre
- 1 plateau
- 1 main
- 1 balance de précision.

e/- Mode opératoire
.....

- Traitement de la terre

- On place les trois prises de 10 g. au fond d'un bécher de 250 ml. en étalant la terre en une couche uniforme.

- Les prétraitements se font respectivement avec 10 mL. d'alcool et de benzène. Après un contact de 5 minutes, les béchers sont remplis d'eau distillée. Le témoin sans prétraitement est directement mis, en contact avec l'eau. Dans tous les cas, le temps de contact est de 30 minutes.

- Le contenu du bécher est alors transvasé dans un erlenmeyer de 750 ml. portant un repère à 300 ml. auquel on ajuste le volume. L'erlenmeyer est bouché et agité par 20 retournements.

- Le contenu est alors jeté sur le tamis de 200 pour tamisage sous l'eau. Dans tous les transvasements, le jet de pissette doit être utilisé avec précaution pour ne pas détruire les agrégats, mais les entraîner par un écoulement d'une lame d'eau.

- Tamisage
.....

Le tamisage est effectué avec l'appareil mis au point par FEODOROF au C.N.R.A. de Versailles.

-Le tamis de 10 cm de diamètre est placé dans un cristallisoir de 145 à 150 mm de diamètre et 80 mm de profondeur, de préférence sans bec. Ce cristallisoir porte un repère tel qu'en réalisant le niveau d'eau correspondant, la toile du tamis, affleure au point mort haut en cours de tamisage. Le cristallisoir repose sur un rond de caoutchouc mousse pour amortir les chocs; l'utilisation d'un bac en polyéthylène assez souple dispense de cette précaution.

-Le plateau mobile portant cristallisoir et tamis est déporté latéralement par rapport à la griffe du tamis.

-On verse l'échantillon sur le tamis et on amène le niveau d'eau un peu au dessous du repère en versant l'eau à l'extérieur du tamis, puis on tape le tamis contre le fond du cristallisoir pour chasser l'air emprisonné sous la toile (jusqu'à cessation de bulles). On ajuste alors le niveau d'eau au repère en l'assurant qu'il est égalisé entre l'intérieur et l'extérieur du tamis.

-On replace le plateau mobile dans l'axe de l'appareil et on descend la griffe suffisamment pour fixer le tamis (la toile restant immergée). Le tamis doit être centré dans le cristallisoir.

-Quand la surface de l'eau est immobilisée, on tamise en donnant 20 tours de manivelle en 20 secondes, avec le maximum de régularité en commençant par un mouvement de plongée pour terminer au point mort haut.

-Le tamis est décroché et l'ensemble support déporté sur le côté. On recueille alors les agrégats en les chassant dans une capsule avec un jet de pissette

REMARQUE : Une opération totale agitation + tamisage + récupération des agrégats demande environ 4 minutes à un opérateur entraîné; il opère pour cela par série de 6 échantillons en une heure.

ple	A eau	A alcool	A benzène	B eau	B alcool	B benzène
ement	9h.eau	9h.5 alcool 9h.10 eau	9h.10 9h.15 eau	9h.15 eau	9h.20 alcool 9h.25 eau	9h.25 9h.30
age	9h.30	9h.35	9h.40	9h.45	9h.50	9h.55

- Détermination de (A + L) maximum

- On récupère le contenu du bac de tamisage correspondant au prétraitement au benzène et on le passe en allonge de sédimentation en ajustant à un litre.

- Pour standardiser la méthode, la dispersion ménagée au pyrophosphate est faite d'une manière systématique :

- au temps $t_0 - 20$ secondes, on agite par 5 à 6 retournements lents de manière à reposer l'allonge à $t_0 - 5$ secondes.

- on ajoute alors les 10 ml. de dispersant et on fait un retournement de sorte que l'allonge est reposée en sédimentation au temps t_0 .

- le prélèvement (A + L) est effectué comme pour l'analyse mécanique.

- Détermination SG

-L'expérience montre qu'il est préférable de déterminer SG. Le chiffre donné par l'analyse mécanique correspond le plus souvent à une terre préparée à la passoire et non au tamis à trous carrés et à une prise échantillonnée avec moins de soins : deux causes de variations importantes.

-Les sables grossiers sont donc déterminés sur les agrégats correspondant au prétraitement au benzène où la dispersion est déjà maximum :

-destruction de la matière organique comme pour analyse mécanique.

-passage en erlenmeyer avec 10 ml. de pyrophosphate : agitation vigoureuse à la main.

-tamisage, sous le robinet au tamis de 0,2mm; récupération des sables grossiers.

- Calcul

-Soit P_1 les poids d'agrégats et de sables grossiers séchés :

on a directement Ag % et SF % = $P_1 \times 10$

Ag = agrégats ; SF = Sables fins.

-Soit m le poids en mg du prélèvement argile + limon, desséché (après soustraction de l'excès correspondant au pyrophosphate).

On a $(A + L) \text{ maximum \%} = \frac{m}{2}$

Un opérateur entraîné fait 30 à 40 échantillons par semaine.

I O T A : Is peut varier entre 0,1 pour les terres à très bonne stabilité structurale (terres noires sur ponzzolanes de l'Ouest Cameroun par exemple et 100 ou plus pour des terres à très mauvaise structure (terres salées d'IRAK par exemple).

3-2 Résultats analytiquesa/ Sols ferrugineux tropicaux
(CASAMANCE)

ECHANTILLONS	PROFONDEUR	C%	Ag Alcool%	Ag Eau %	Ag Benzène%	A+L %	S.G. %	Is
<u>B II8</u>								
II80	0-10cm	6,2	55,21	51,42	39,23	15,5	29,9	0,71
II81	10-30cm	4,2	58,47	54,88	32,70	30,0	30,0	1,38
II82	30-40cm	3,7	59,42	50,88	27,67	39,0	21,1	1,44
II83	55-65cm	2,1	56,48	49,50	21,23	45,0	19,9	1,84
II84	90-100cm	1,5	62,49	49,29	25,17	42,5	22,4	1,67
II85	130-150cm	1,1	65,55	56,29	21,06	45,0	19,6	1,50
II86	200-220cm	0,6	54,22	29,58	16,96	47,0	16,2	2,48
<u>B 92</u>								
920	0-10 cm	3,9	53,84	53,38	50,79	13,5	46,6	1,25
921	10-25cm	2,2	54,62	54,59	48,89	17,0	47,1	1,82
922	25-35cm	2,3	65,35	59,31	42,45	30,0	41,1	1,60
923	50-60cm	2,1	61,99	51,79	33,39	44,0	32,8	2,25
924	75-90cm	1,7	60,75	55,15	26,83	45,5	26,0	1,88
<u>BII5</u>								
II50	0-10cm	4,8	56,08	56,43	54,39	12,0	47,6	0,94
II51	30-40cm	3,0	62,69	54,97	44,66	20,5	41,0	1,19
II52	70-80cm	2,0	67,48	57,35	28,87	39,5	27,6	1,50
II53	120cm	1,5	64,59	53,61	26,13	44,5	24,8	2,04
<u>3 II6</u>								
II60	0-10cm	6,7	50,84	42,65	42,31	13,5	35,8	1,04
II61	20-30cm	2,7	59,02	55,01	38,78	24,5	37,0	1,39
II62	60-70cm	2,0	59,73	54,04	24,13	44,0	22,8	1,73
II63	120-130cm	1,3	51,57	47,44	20,11	42,5	19,2	1,90
<u>E 6</u>								
60	0-10cm	5,9	44,65	40,87	35,58	22,0	32,3	1,94
61	20-30cm	3,8	67,87	64,62	30,66	17,7	29,3	0,63
62	50cm	2,8	71,55	64,36	18,12	33,0	17,2	0,92
64	100cm	2,0	66,24	64,52	23,31	52,5	21,6	1,64
<u>C I4</u>								
I40	0-10cm	11,3	39,46	32,87	32,29	20,0	26,9	1,88
I41	20-30cm	4,0	70,65	60,02	29,70	40,0	28,7	1,44
I42	40-50cm	3,3	63,81	61,43	14,98	61,5	14,3	1,81
I43	90-100cm	1,7	72,17	67,85	12,98	62,5	12,1	1,56

<u>CC-9</u>								
90	0-10 cm	6,1	45,93	41,91	38,58	11,5	36,8	1,27
91	35-50cm	3,1	54,67	46,09	38,73	27,0	34,6	1,84
92	70-80 cm	4,0	58,61	49,06	31,54	36,0	29,2	2,10
93	100-110cm	3,6	60,26	46,57	22,34	46,0	21,5	1,99
94	150-160cm	2,9	57,78	45,45	22,01	50,0	20,3	2,13
95	210-230cm	2,4	58,38	45,87	23,02	38,5	21,4	1,66
96	300cm	1,7	58,20	50,94	19,83	41,5	19,1	1,61
97	450cm	1,1	58,75	57,81	42,21	25,5	40,2	1,62
<u>0034</u>								
341	0-10 cm	5,0	65,31	66,42	61,38	13,0	60,0	1,26
342	35-45 cm	3,3	75,47	71,44	43,56	34,0	33,9	1,03
343	70-85 cm	2,4	76,41	58,91	36,57	42,0	29,1	1,35
344	120-140cm	2,4	70,70	58,64	24,99	55,5	22,4	1,77
<u>CC65</u>								
650	0-10cm	7,0	60,80	59,95	55,20	8,5	45,6	0,48
651	30-40cm	4,4	66,61	60,28	34,65	34,0	32,3	1,37
652	55-70cm	3,4	66,87	56,77	18,98	56,0	18,5	1,81
653	90-100cm	2,1	65,36	54,86	16,73	55,5	15,9	1,77

b/ Sols faiblement ferrallitiques
(CASAMANCE)

CHANTILLONS	PROFONDEUR	C%	Ag	Ag	Ag	A+L	S.G	Is
			Alcool%	eau %	benzène %			
<u>JA 9</u>								
91	0-3 cm	19,0	41,80	37,69	34,01	3,5	23,6	0,21
92	3-15cm	7,1	46,33	45,20	39,15	5,0	34,1	0,39
93	20cm	3,6	53,59	47,16	43,95	8,0	37,4	0,55
94	50cm	2,5	52,52	42,88	32,13	19,0	30,4	1,25
95	85cm	2,3	55,74	43,95	31,93	29,5	29,8	1,72
96	160cm	2,0	58,71	31,95	26,22	32,0	25,4	1,99
97	210cm	2,3						
<u>JA II</u>								
III	0-4 cm	8,6	58,12	49,99	46,74	9,5	42,0	0,68
II2	4-15cm	4,4	50,52	45,92	42,87	12,5	39,9	1,19
II3	15-25cm	3,1	54,39	47,05	38,80	15,5	36,8	1,13
II4	25-55cm	2,9	55,67	46,98	35,60	22,5	33,1	1,39
II5	80-90cm	2,8	61,59	54,61	28,69	41,0	26,9	1,70
II6	125-140cm	2,5	59,71	48,76	25,26	43,5	24,4	1,92
II7	220-230cm	2,3						
II8	300cm	1,1	63,54	35,35	17,34	45,5	16,1	1,88

CA I	Profondeur	C %	Ag	Ag.Eau	Ag	A + L	S.G	I _s
			Alcool		Benzène%	%		
I0	0 - 4cm	9,6	39,76	34,34	31,16	14,5	20,6	0,27
II	4 - 16cm	5,2	46,97	42,72	39,48	7,5	29,0	0,57
I2	16 - 28cm	4,4	37,76	41,57	33,01	6,5	25,5	0,45
I3	28 - 45cm	3,8	48,66	45,11	29,04	16,0	24,7	0,86
I4	60 - 75cm	2,2	56,07	41,95	21,40	33,5	17,9	1,65
I5	100 - 110cm	2,4	50,43	41,29	21,37	29,5	17,8	1,36
I6	150 - 160cm	1,3	42,98	38,55	21,60	29,0	18,9	1,67
I7	200 - 210cm	1,4	43,42	33,18	21,25	32,0	19,4	2,12
I8	250 - 260cm	1,4	43,66	33,09	19,05	33,0	16,3	1,91
I9	300 - 310cm	1,4	39,93	24,30	17,06	34,5	14,4	2,44
I9a	410 - 435cm	1,0	53,53	26,10	17,65	40,0	16,8	2,31
I9b	480 - 500cm	0,9	49,54	22,21	15,16	42,5	14,5	2,68
I9c		1,0	45,76	19,42	14,34	41,5	13,7	2,93
I9d		1,3	49,47	18,21	12,90	42,5	12,0	2,65
<u>JA I3</u>								
I30b	2 - 10cm	11,3	41,41	40,15	35,59	6,0	30,9	0,53
I30c	10 - 20cm	7,0	44,04	38,22	33,82	19,0	31,1	0,84
I30d	20 - 30cm	4,2						
I31	50cm	3,6	45,19	43,28	27,60	25,0	25,7	1,61
I32	200cm	2,2	54,91	41,89	19,47	39,0	18,8	1,78
I33	450cm	1,2	53,54	44,13	13,38	40,0	12,6	1,56
I34	630cm	0,7	54,06	38,24	24,07	32,0	22,6	1,74
I35	750cm	0,8	49,83	41,99	27,80	32,5	26,3	1,39
I36	950cm	0,6	32,52	27,13	25,86	10,5	22,6	1,39
I37	1100cm	0,5	57,59	53,93	42,29	18,0	38,4	1,07
I38	1360cm	0,3	56,30	51,79	41,62	17,0	39,7	1,20
<u>R I</u>								
II	0 - 10 cm	6,8	30,96	30,06	27,54	6,5	22,3	0,63
I2	10 - 30cm	3,0	28,41	28,30	26,09	9,0	23,0	1,32
I3	40 - 60cm	2,1	30,97	27,48	27,09	13,5	24,7	2,26
I4	100 - 120cm	1,3	39,39	31,87	28,20	21,5	25,8	2,16
I5	220 - 240cm	1,5	39,26	31,38	31,35	19,5	28,1	2,25
I6	300 - 320cm	1,2	34,11	30,46	23,87	19,5	22,6	2,14
I7	400 - 420cm	1,2	39,17	39,47	21,32	24,5	20,0	2,04
<u>R 2</u>								
21	0 - 10 cm	4,4	37,88	36,69	35,39	7,5	32,9	1,07
22	10 - 20 cm	4,5	38,92	32,85	34,44	9,0	29,6	1,17
23	40 - 60 cm	1,7	35,04	33,36	30,07	10,0	29,8	1,45
24	100 - 120 cm	1,5	49,47	37,38	33,21	20,0	31,1	1,66
25	440 - 460 cm	1,1	44,79	37,90	29,47	20,5	28,4	1,73
IO25	220 - 310 cm	1,8	46,61	38,15	31,93	20,5	30,4	1,94
IO1	0 - 7 cm	11,4	48,14	43,30	41,78	7,5	26,6	0,36
IO2	10 - 20cm	4,1	52,40	40,26	28,11	21,0	25,1	1,19
IO3	40 - 50cm	3,2	62,73	51,18	20,53	41,0	19,7	1,51
IO4	75 - 85cm	2,3	68,03	56,82	18,14	45,0	17,2	1,39
IO5	130 - 140cm	1,7	72,26	58,18	22,21	37,5	20,3	1,13
IO6	190 - 200cm	1,5	69,45	53,81	15,19	47,0	14,6	1,42
IO7	245cm	1,1	60,07	30,32	16,21	47,5	15,3	2,19

3-3 Relation entre la stabilité structurale et le fer libre

Etant données statistiquement identiques les deux méthodes d'analyse de fer libre DEB et D'HOORE, on peut prendre l'une ou l'autre méthode pour mettre en évidence cette relation.

Pour ce faire on a adopté ici la méthode DEB utilisée dans le rapport Fer libre/Fer total.

Par ailleurs la relation entre Is et le fer libre ne donnant rien de significatif on a jugé plus intéressant de considérer une double corrélation avec le taux d'agrégat à l'alcool - sable grossier % en fonction de l'argile + limon % et du fer libre %.

Pour cela, on a éliminé au préalable les horizons de surface jusqu'à 30cm à cause de leur constitution sableuse où la structure est due essentiellement à la présence des sables grossiers. On a ensuite considéré séparément les deux types de sols : ferrugineux tropicaux et faiblement ferrallitiques.

Dans le deuxième type de sols le fer est sensé jouer un rôle structurant de premier ordre (formation de psodosables) alors que dans le premier type il est plutôt entraîné par lessivage avec formation des taches et concrétions.

Pour cette corrélation, on a pris A + L parce que ne pouvant pas obtenir avec précision l'argile seule. De plus ces échantillons ne sont pas très riches en limon. Les taux de A + L sont ceux obtenus par l'analyse granulométrique (la dispersion étant meilleure).

Soit :

$$\begin{array}{l} \text{Taux Ag. alcool - SG} \\ y \end{array} \begin{array}{l} \nearrow \text{Argile + Limon \% = } x_1 \\ \searrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ DEB \% = } x_2 \end{array}$$

D'où étude d'une régression partielle (cas de 2 variables indépendants).

a/ SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX

ECHANTILLONS	Ag.alcool-SG	A + L	Fe ₂ O ₃	Fer libre %
	% y	% x ₁	DEB % x ₂	A + L
CB II82	38,3	39,0	0,63	I,6I
II83	36,6	44,5	0,48	I,08
II84	40,1	36,2	I,II	3,07
II85	45,9	44,2	2,02	4,57
II86	48,0	45,5	2,47	5,43
922	24,2	29,5	I,IO	3,73
923	29,2	39,5	I,27	3,2I
924	34,7	43,5	I,6I	3,70
II52	39,9	45,2	I,05	2,32
II53	39,8	45,2	I,80	3,98
II62	36,9	42,5	0,83	I,95
II63	32,4	4I,0	I,07	2,6I
CE 62	54,3	59,7	0,39	I,50
64	44,6	46,7	2,59	5,55
CC I42	49,5	62,7	0,97	I,55
I43	60,1	39,7	I,80	4,53
92	29,4	39,5	I,8I	4,58
93	38,8	5I,5	2,13	4,13
94	37,5	48,5	2,33	4,80
95	37,0	4I,5	2,93	7,06
96	39,1	42,0	3,28	7,8I
97	I8,5	3I,5	6,53	-
343	47,3	42,4	2,09	5,92
344	48,3	50,7	2,94	5,80
652	48,4	54,0	I,07	I,95
653	49,5	45,8	2,05	4,47
n = 26	IO48,3	II52,0	48,85	
	moyenne <u>Fer libre %</u> = 3,85 A + L			

Soit : \bar{y} = moyenne résultats Ag.alcool - S.G. % = 40,32

\bar{x}_1 = moyenne résultats A + L % = 44,3I

\bar{x}_2 = moyenne résultats Fe₂O₃ DEB % = I,879

S.G. sables grossiers ; A + L = Argile + Limon.

y = Agrégat alcool - Sables grossiers %

x₁ = Argile + Limon %

x₂ = Fer libre % méthode DEB

On peut poser l'équation suivante.

$$y = f(x_1, x_2)$$

$$(y - \bar{y}) = b_1 (x_1 - \bar{x}_1) + b_2 (x_2 - \bar{x}_2)$$

D'où après des calculs :

$$\begin{aligned} b_1 &= 0,76846 & ; & \quad b_2 = -0,85977 \\ C11 &= 0,0007897 & ; & \quad C22 = 0,029081 \end{aligned}$$

Pour 23 degrés indépendants : la variance de l'erreur est :

$$\sigma^2 = 54,4422 \quad \text{ou} \quad \sigma = \pm 7,3785$$

Le coefficient de régression pour le taux d'agrégat - S.G. en fonction de A + L % est :

$$t_1 = \frac{b_1}{\sqrt{C11}} = 3,706 \quad (\text{très hautement significatif})$$

Le coefficient de régression pour le taux d'agrégat - S.G. en fonction du fer libre est :

$$t_2 = \frac{b_2}{\sqrt{C22}} = 0,683 \quad (\text{non significatif})$$

En poussant plus loin, on trouve dans la table de FISCHER et pour 23 degrés indépendants qu'il y a moins de 50% de chance pour qu'il y ait une corrélation entre le taux d'agrégat S.G. et le fer libre.

Il semble donc inutile de chercher le coefficient de corrélation multiple et de poser l'équation de régression.

Ce qui prouverait que le Fer libre n'a aucun rôle structurant dans les sols ferrugineux tropicaux. IL est plutôt entraîné par lessivage dans le profil, avec formation des taches et de concrétions dans des horizons d'accumulation.

De plus le rapport Fer libre/Argile + limon est très faible. Il est en moyenne de 3,9%; ce qui montrerait que le fer libre n'est pas retenu par l'argile.

b/- Sols FAIBLEMENT FERRALLITIQUES

ECHANTILLONS		Ag. Alcool-SG % y_1	A + L % x_1	Fe ₂ O ₃ % DEB x_2	Fer libre %	
					A + L	
CA	94	12,1	18,0	0,98	5,44	
	95	25,9	28,5	1,83	6,42	
	96	33,3	33,5	2,07	6,18	
	II4	22,6	26,2	1,10	4,20	
	II5	34,7	42,2	1,61	3,81	
	II6	35,3	45,7	1,83	4,00	
	II7	-	-	-	-	
	II8	47,4	40,5	2,15	5,30	
	I3	24,0	19,0	1,03	5,42	
	I4	38,2	36,5	1,99	5,45	
	I5	32,6	35,0	1,83	5,23	
	I6	24,1	26,0	1,59	6,11	
	I7	24,0	31,7	1,75	5,52	
	I8	27,4	33,2	1,83	5,51	
	I9	25,5	35,2	1,83	5,20	
	I9a	36,7	38,0	2,21	5,82	
	I9b	35,0	40,5	2,63	6,49	
	I9c	32,1	45,2	2,53	5,60	
	I9d	37,5	43,9	2,77	6,17	
	I31	19,5	27,7	1,75	6,31	
	I32	36,1	40,5	2,55	6,30	
	I33	40,9	39,7	3,33	8,39	
	I34	31,5	25,2	4,81	19,09	
	I35	23,5	19,0	5,88	-	
	I36	9,9	9,7	1,11	11,44	
	I37	19,2	16,9	2,74	16,21	
	I38	16,6	18,2	0,70	3,85	
	NR	I3	5,9	13,5	1,03	7,63
		I4	13,6	21,7	1,35	6,22
		I5	11,2	22,0	1,35	6,14
		I6	11,5	22,5	1,40	6,22
		I7	19,2	23,2	1,45	6,25
		23	5,2	13,9	0,97	6,98
		24	18,4	21,7	1,38	6,36
		25	16,2	22,7	1,33	8,06
		26	16,4	22,5	1,83	8,13
		SF	I03	43,0	40,0	2,24
	I04		50,8	43,5	2,39	5,49
I05	52,0		35,5	4,35	12,25	
I06	54,8		44,0	3,09	7,02	
I07	44,8		46,5	3,03	6,76	
n = 40		II08,6	I208,9	84,06	268,57	
		moyenne	Fer libre A + L	% = 6,9		

Soit \bar{y} = moyenne des résultats Ag.alcool - SG% = 27,72

\bar{x}_1 = moyenne des résultats Argile + Limon = 30,22

\bar{x}_2 = moyenne des résultats Fe₂ O₃ DEB %

y = agrégat alcool % - sables grossiers %

x₁ = Argile + Limon %

x₂ = Fe₂ O₃ DEB %

On peut passer l'équation suivante :

$$y = f(x_1, x_2)$$

$$\text{ou } (y - \bar{y}) = b_1 (x_1 - \bar{x}_1) + b_2 (x_2 - \bar{x}_2)$$

$$\text{et } y = b_1 x_1 + b_2 x_2 + c$$

D'où après des calculs :

$$b_1 = 0,96093 \quad ; \quad b_2 = 3,41196$$

$$c_{11} = 0,00025949 \quad ; \quad c_{22} = 0,025370$$

Pour 37 degrés indépendants : la variance de l'erreur est :

$$\sigma^2 = 31,1831 \quad \text{ou} \quad \sigma = \pm 5,5846$$

Le coefficient de régression pour la relation taux d'agrégat - sables grossiers et argile + Limon est :

$$t_1 = \frac{b_1}{\sigma \sqrt{c_{11}}} = \frac{0,96093}{0,089962} = 10,68 \quad (\text{très hautement significatif})$$

Le coefficient de régression pour la relation taux d'agrégat - sables grossiers % et Fer libre % est :

$$t_2 = \frac{b_2}{\sigma \sqrt{c_{22}}} = \frac{3,41196}{0,8895} = 3,84 \quad (\text{très hautement significatif})$$

Les deux coefficients de régression étant très hautement significatif cela prouve que la corrélation est bonne et permet de tirer le coefficient de corrélation multiple R

$$R = \sqrt{\frac{rb_1 + sb_2}{m}}$$

$$\text{ou } r = 4.644,18 \quad ; \quad s = 289,104 \quad ; \quad m = 6.603,13$$

$$R = \sqrt{0,825287} = \pm 0,9084$$

Pour 37 degrés indépendants le coefficient de corrélation R est supérieur à celui de la table. Il y a donc une corrélation double entre le taux d'agrégat à l'alcool - SG en fonction de A + L % et le taux d'agrégat à l'alcool - SG en fonction du fer libre %

Ce qui prouverait que le fer libre a bien un rôle structurant dans les sols faiblement ferrallitiques (formation de pseudosables).

L'équation de régression partielle est :

$$(y - \bar{y}) = b_1 (x_1 - \bar{x}_1) + b_2 (x_2 - \bar{x}_2)$$

$$\text{d'où } y = b_1 x_1 + b_2 x_2 + c$$

$$\underline{\underline{\text{et } y = 0,96 x_1 + 3,41 x_2 - 8,49}}$$

Par ailleurs on constate que le rapport Fer libre/Argile + Limon est plus élevé dans les sols faiblement ferrallitiques. Il est même le double presque de celui trouvé dans les sols ferrugineux tropicaux : soit 6,9% en moyenne tout en restant plus faible que la valeur de 12% donnée par différents auteurs comme étant celle de la saturation des surfaces actives de la Kaolinite en hydroxydes de Fer trivalent "I₈".

IV - CONCLUSION GENERALE

L'importance du fer libre dans la dynamique des sols suscite un intérêt de plus en plus grand quant à la précision et la reproductibilité des méthodes de dosage que pour un même échantillon peuvent donner des résultats différents. d'un laboratoire à un autre.

Cependant, la comparaison statistique de deux méthodes DEB et D'HOORE a conduit à des résultats identiques sauf pour les fortes teneurs en fer libre où l'on peut trouver quelques différences systématiques. Elles sont aussi précises l'une que l'autre et présentent toutes les deux une aussi bonne reproductibilité. La méthode d'HOORE quoique plus simple et d'une plus grande rapidité d'exécution présente quand même un petit inconvénient qui est celui de l'attaque de la matière organique qui peut parfois, sans qu'on le sache, ne pas être complète et de nombreux prélèvements de parties aliquotes, qui sont des sources d'erreur possibles. Ce qui conduirait à préférer la méthode DEB pour les petites séries.

Le rapport fer libre/fer total révèle pour les sols ferrugineux tropicaux lessivés une migration importante du fer traduisant un phénomène de lessivage et

une accumulation du fer sous forme de taches et de concrétions avec comme conséquence Fer libre/fer total assez faible dans les horizons d'accumulation; tandis que pour les sols faiblement ferrallitiques il y a une tendance du fer à se fixer sur l'argile(fer libre/fer total très élevé jusqu'à une grande profondeur).

Le rapport Fer libre/Argile + Limon est plus élevé dans les sols ferrallitiques que dans les sols ferrugineux tropicaux. Il est en moyenne le double.

La corrélation taux d'agrégat-sables grossiers et Fer libre montre que le fer libre joue bien dans les sols faiblement ferrallitiques un rôle structurant qui est la formation des pseudosables alors qu'il n'en serait rien pour les sols ferrugineux tropicaux.

Au point de vue agronomique on a vu que le fer joue un très grand rôle dans le devenir des sols tropicaux. On sera donc amené à lutter contre les conséquences facheuses qu'est la mise à nu des horizons cuirassés ou intensément concrétionnés rendant ainsi les terres séniles, en favorisant la mobilité du fer par des pratiques culturales adaptées et par des méthodes de conservation de sols appropriés (couvertures forestières, cultures rationnelles, etc...)

0 0
0 0
0

B I B L I O G R A P H I E

- "1" AUBERT G. - Classification pédologique utilisée par les pédologues français (1962).
- "2" BETREMIEUX R. - Etude expérimentale de l'évolution du manganèse dans le sol (Ann.Agro N°3 1951 p.193-295).
- "3" BLOOMFIELD C. - A study of podzolization II - The mobilization of iron and aluminium (Journ of Soil Sc.).
- "4" DEMOLON et BASTISSE
- Rôle vecteur de la silice dans les phénomènes géographiques et physiologiques (Ann. Agro 1944).
- "5" DEB B.C. - The movement and precipitation of iron oxides in podsol soils. J1 Soil Sci I 1950 - p.II2.22
- "6" DUCHAUFOR PH. - Précis de pédologie (1960 p.276).
- "7" DUCHAUFOR PH. - Note sur le rôle du fer dans les complexes argilo-humiques présentée par M.LEMOIGNE.
- "8" J.D'HOORE
- Le facteur humain et accumulation des sesquioxydes libres dans les sols tropicaux.
- Extrait des comptes rendus de la 2ème conférence Inter africaine des sols - Léopoldville 9-14 AOÛT 1954 (p.242-249)
- "9" KALOGA B. - O.R.S.T.O.M. - Rapport sur l'étude des sols du Bassin versant de Zandiella (1959).
- "10" LOSSAINT P. - Solubilisation du fer dans un sol par les extraits aqueux stériles de litières de charme et de Pin Sylvestre. (CRA des Sc. tome 239 N°2 JUILLET 1954 p.187).
- "11" MAIGNIEN R. - Le cuirassement des sols en Guinée (1958) - Thèse de doctorat (Université de Strasbourg).
- "12"
- Répertoire des modes opératoires d'analyse du sol (Service pédologique interafricain S.P.I) - Commission pour la coopération technique en Afrique au Sud du Sahara diffusé par B.I.S. (p.13).
- "13" STARKEY R.L. & HALVORSON H.O.
- The role of microorganism in transformations of iron in nature (Proc.Ist. Int. Congr. Soil. Sci 3-4 1928)
- "14" DEB
- Dosage du fer libre (Journ.of.Soil Sc. Vol.I N°2 1950).
- "15" DUGAIN F. - Méthodes d'analyses utilisées au laboratoire de physico-chimie des sols. AVRIL 1961 (p.47-49).
- "16" BRUNEL A. - Traité pratique de Chimie végétale TOME I partie générale (page 418-426).
- "17" LACROIX Y. - Analyse chimique Interprétation des résultats par le calcul statistique (p.5 - 26).
- "18" J.D'HOORE
- FRIPIAT, GASTUCHE (M.C.) -
Les argiles tropicales et leurs oxydes de recouvrement.
2° conférence interaf. des sols 1954 p.257.