

OFFICE DU NIGER

\*\*\*\*\*

:- SEGOU :-

\*

ASSOCIATION INTERNATIONALE  
DE DEVELOPPEMENT

\*\*\*\*\*



H 12

Evolution des sols  
Office du Niger

AMENAGEMENT HYDROAGRICOLE  
DEPENDANT DU CANAL DU SAHEL

\*\*\*\*\*

CONVENTION D'ASSISTANCE TECHNIQUE ET D'INGENIERIE

\*\*\*\*\*

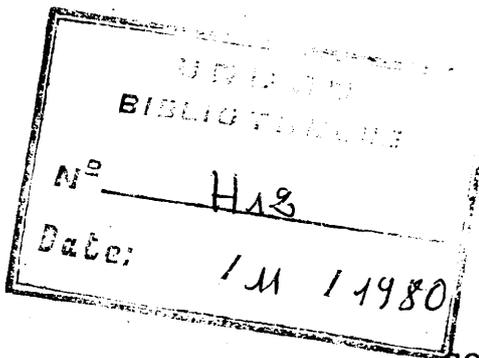
EVOLUTION DES SOLS IRRIGUES

\*\*\*\*\*

MISSION DE M. T O U J A N  
DU 20 OCTOBRE AU 14 NOVEMBRE 1980

\*\*\*\*\*

Coo  
1379



SOGREAH

INGENIEURS-CONSEILS

NOVEMBRE 1980

320546. R.29

Coo/1379

# S O M M A I R E

|   |    |
|---|----|
| Préambule .....   | 1  |
| 1°) - <u>Les mesures physiques</u> .....  | 2  |
| 1.1. <u>Granulométrie</u> .....   | 2  |
| 1.1.1 - sables totaux .....   | 2  |
| 1.1.2 - rapport sable fin/sable grossier .....                                  | 3  |
| 1.1.3 - argiles .....   | 3  |
| 1.2. <u>Agrégation</u> .....  | 3  |
| 1.2.1 - agrégats .....  | 3  |
| 1.2.2 - dispersion en milieu concentré .....                                    | 4  |
| 1.3. <u>Perméabilité</u> .....  | 4  |
| 1.3.1 - après 1 heure .....   | 4  |
| 1.3.2 - après 15 heures .....   | 4  |
| 1.4. <u>Porosité</u> .....  | 5  |
| 1.4.1 - saturée .....   | 5  |
| 1.4.2 - mottière .....  | 5  |
| 1.5. <u>Humidité à rétention</u> .....  | 6  |
| 2°) - <u>Les analyses chimiques</u> .....                                       | 7  |
| 2.1. <u>Matières organiques</u> .....   | 7  |
| 2.1.1 - carbone .....   | 7  |
| 2.1.2 - azote .....   | 7  |
| 2.1.3 - rapport C/N .....   | 8  |
| 2.2. <u>Phosphore</u> .....   | 8  |
| 2.2.1 - réserve .....   | 8  |
| 2.2.2 - assimilable .....   | 8  |
| 2.3. <u>Cations échangeables</u> .....  | 9  |
| 2.3.1 - calcium .....   | 9  |
| 2.3.2 - potassium .....   | 9  |
| 2.3.3 - magnésium .....   | 10 |
| 2.3.4 - sodium .....  | 10 |
| 2.4. <u>Capacité totale d'échange</u> .....                                     | 10 |
| 2.5. <u>pH</u> .....  | 11 |
| 3°) - <u>Influence des types de sol, des cultures, de l'environnement</u> ..... | 12 |
| 3.1. <u>Types de sol</u> .....  | 12 |
| 3.2. <u>Cultures</u> .....  | 14 |
| 3.3. <u>Environnement</u> .....   | 14 |
| 4°) - <u>Conclusions</u> .....  | 16 |

Préambule

-+++-

Pour analyser l'"évolution (fertilité notamment) sous l'effet des irrigations successives" des sols des différents casiers de l'Office du Niger, nous avons passé un mois à Ségou et sur le terrain en automne 1979 (voir rapport 320546 R.23). A la suite de cette mission 17 profils ont été prélevés (soit 44 échantillons) en Mars 1980 en des points aussi proches que possible d'endroits où des prélèvements (suivis d'analyses) avaient été effectués une trentaine d'années plus tôt (Mars 1951).

L'objet de la présente note est la comparaison des résultats des analyses 1980 à ceux des analyses 1951, de façon à essayer d'en dégager une évolution des sols.

Les principes des analyses effectuées en 1951 par le laboratoire (dirigé par B. DABIN) de l'Office du Niger sont connus mais non les protocoles exacts.

Les nouvelles analyses ont été effectuées en 1980 par le laboratoire de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer, près de Paris (dont la chimie est dirigée par le même B. DABIN). Mais, bien qu'un effort ait été fait pour utiliser des méthodes proches des méthodes anciennes (en particulier en ce qui concerne les extractions), les conditions de température et d'appareillage ont été nettement différentes. Nous essayerons de faire la part due à ces nouvelles conditions.

Nous allons passer en revue chaque détermination, physique puis chimique, en présentant des graphiques en échelles linéaires portant en abscisse les résultats de 1951 et en ordonnée ceux de 1980. Les graphiques logarithmiques ont été essayés mais non retenus car souvent pas meilleurs coefficients de corrélation tantôt un peu plus faibles, tantôt un peu plus forts) et parfois non utilisables (si un ou des résultats de valeur nulle). Sur chaque graphique nous avons porté la droite dite de régression qui rend minimum la somme des carrés des écarts des points observés à cette droite), inscrit son équation  $y = ax + b$  et le coefficient de corrélation  $r$  (d'autant plus voisin de 1 que l'ensemble des points est bien représenté par la droite précédente), ainsi que les moyennes des valeurs et leurs écarts-type  $\pm \sigma$  (dispersion autour de la moyenne).

Les conclusions seront orientées vers la nécessité d'essais de corrections agricoles de certaines évolutions jugées défavorables.

.../...

1°) - LES MESURES PHYSIQUES

1.1. Granulométries

La principale évolution des techniques de dispersion consiste dans le remplacement du citrate de sodium par du pyrophosphate de sodium. On doit de ce fait s'attendre à une augmentation du taux d'éléments fins, spécialement des argiles aux dépends des limons.

La somme des fractions 1951 a dû être ramenée à 100%, par répartition de la différence à 100 proportionnellement à chaque fraction.

Au point de vue des noms, les limons actuels sont divisés en fins (2 à 20 microns) et grossiers (20 à 50 microns) alors qu'autrefois la fraction 20-50 microns était rattachée aux sables fins. Par exemple, pour l'échantillon A 0-25 cm en % :

| A n a l y s e 1 9 8 0 |            |                     |                | A n a l y s e 1 9 5 1 |                   |       |
|-----------------------|------------|---------------------|----------------|-----------------------|-------------------|-------|
| Présentation du Labo  |            | Après transposition |                | Brut                  | Après répartition |       |
| Limon                 | argile     | 59,6                | argile         | 59,6                  | 51                | 54,8  |
|                       | (fins      | 7,0                 | limon          | 7,0                   | 8                 | 8,6   |
|                       | (grossiers | 12,5                |                |                       |                   |       |
| sable                 | fin        | 11,3                | sable fin      | 23,8                  | 24,8              | 26,7  |
| sable                 | grossier   | 9,6                 | sable grossier | 9,6                   | 9,2               | 9,9   |
|                       |            |                     |                | 100,0                 | 93,0              | 100,0 |

La comparaison sera faite entre 1951 après répartition et 1980 après transposition.

1.1.1 - Sables totaux.

L'observation du graphique N°1 des déliants montre l'anomalie des points représentatifs des profils FO et 8. Aussi tous les calculs ont été faits sans les prendre en compte. Comme il est généralement admis que les éléments sableux du sol varient peu, nous pensons que la localisation 1980 de ces 2 profils ne correspond pas à celle de leurs homologues 1951. Pour FO, il s'agit en fait d'un profil repéré sur carte par rapport à des canaux qui n'ont jamais été réalisés sur le terrain où ils ne peuvent donc pas servir de guide. Nous avons donc éliminé les 2 profils FO et 8 de toute comparaison ultérieure.

.../...

La droite de régression est très voisine de la 1ère bissectrice et illustre donc la quasi-permanence du "squelette sableux" du sol. Cette droite traduit bien la position des points car le coefficient de corrélation est fort ( $r = 0,93$ ). Les fortes dispersions autour des moyennes  $\pm 22$ ) traduisent seulement le fait que les taux de sable sont fortement variables (10 à 90 %) d'un sol à l'autre.

### 1.1.2 - Rapports sable fin/sable grossier.

Ces rapports (voir graphique N°2) varient autour de 3, traduisant le fait que les sables fins sont bien plus abondants que les sables grossiers; aussi, lorsque ces derniers deviennent petits, l'erreur relative les concernant peut devenir importante et le rapport envisagé varie vite. Par exemple, pour l'échantillon SE 25-50 : sable fin/sable grossier

$$1951 = 16,6/4,8 = 3,5 \text{ et } 1980 = 14,1/1,9 = 7,4 .$$

Le coefficient de corrélation est très petit, traduisant la grande dispersion des points représentatifs et rendant donc illusoire toute tentative d'interprétation.

### 1.1.3 - Argiles.

Le graphique N°3 montre que les taux d'argiles 1980 sont supérieurs de 10 à 15 % à ceux de 1951 et que la représentation par la droite de régression est assez bonne ( $r = 0,88$ ). Comme la somme des sables est sensiblement constante, il y a une légère augmentation des argiles aux dépens des limons; mais, comme dit en 1.1, cela est certainement, au moins en grande partie, imputable à la plus grande efficacité des nouveaux dispersants plutôt qu'à un phénomène d'"argilification".

## 1.2. Agrégation

Les particules élémentaires de l'analyse granulométrique se groupent dans la nature en agrégats plus ou moins gros mais surtout plus ou moins stables vis-à-vis de l'action des agents extérieurs (c'est-à-dire surtout de l'eau) et sont donc plus ou moins facilement dispersables.

### 1.2.1 - Agrégats.

Sur le graphique N°4 sont reportées les proportions des agrégats (dit "particules  $> 0,2$  mm" en 1951) ayant résisté à un certain trempage. La représentation par une droite reste encore acceptable ( $r = 0,61$ ) et montre une diminution des valeurs de près de leur moitié. C'est un indice très net de la détérioration de la structure de ces sols .

### 1.2.2 - Dispersion en milieu concentré.

Elle est évaluée par un rapport dont le dénominateur est la somme de l'argile + limon obtenue en granulométrie.

Cette somme, égale à : 100 - sables totaux, a peu bougé, à peine un peu augmenté en moyenne (100 - 39,3 contre 100 - 41,7 - voir graphique N°1), ce qui tendrait à diminuer un peu la fraction. Le numérateur est obtenu dans une dispersion de rapport sol/eau = 1/1,5 qui a pu être reproduite en 1980. Malheureusement cette technique conduit à de nombreux cas de floculation et le nombre des résultats non nuls est réduit à environ la moitié de celui des échantillons analysés.

Sur le graphique N°5 il apparaît tout d'abord que la représentativité de la droite est mauvaise ( $r = 0,39$ ); on peut cependant dire que le nombre d'échantillons dispersés a augmenté (puisque le nombre des floculations a diminué) et que la dispersion moyenne a également augmenté (plus de 3 fois).

La tendance à la dispersion du sol gorgé d'eau a donc bien augmenté.

### 1.3 - Perméabilités

La technique de laboratoire n'a guère été modifiée; il s'agit de la mesure de la quantité d'eau sous charge constante traversant une colonne de sol préalablement séché, broyé à 2 mm puis saturé à partir de la base de la colonne (pour en exclure l'air). C'est une mesure permettant de comparer les sols entre eux mais qui ne saurait remplacer la mesure en place, en particulier pour des rizières.

#### 1.3.1 - Perméabilité après 1 heure.

Le graphique N°6 montre une chute très importante de cette perméabilité, qui tombe à environ le tiers de ses anciennes valeurs, avec un coefficient de corrélation de 0,55.

Sur le même graphique nous avons reporté une seconde droite, qui correspond aux horizons supérieurs seuls. Avec un coefficient de corrélation à peu près semblable ( $r = 0,57$ ), la chute de perméabilité est moins importante, inférieure à la moitié de la valeur antérieure.

#### 1.3.2 - Perméabilité après 15 heures.

Cette perméabilité n'a pas été reportée sur un graphique car les chiffres en sont très petits, parfois nuls. Nous en avons simplement calculé la corrélation, qui est très mauvaise ( $r = 0,07$ ), et les moyennes,

qui sont pour 1951 de 0,024 cm/m et pour 1980 de 0,011, donc traduisant une chute proportionnellement du même ordre que celle rapportée pour la perméabilité après 1 heure.

#### 1.4. Porosités

Comme pour les perméabilités il s'agit de chiffres pouvant être comparés mais qui ne sauraient remplacer des mesures en place.

##### 1.4.1 - Porosité saturée.

Les porosités saturées 1980 ont été calculées à partir des volumes (indiqués par le laboratoire) occupés par les 50 g de sol venant de servir aux mesures de perméabilités, en prenant 2,65 comme densité réelle et en appliquant la formule habituelle  $P\% = 100 (2,65 - 50/\text{volume})/2,65$ . L'adoption de 2,7 comme densité réelle augmenterait de très peu les porosités.

Le graphique N°7, au coefficient de corrélation moyen ( $r = 0,72$ ) ne met en évidence aucun glissement des perméabilités voisines de 50%; une légère diminution apparaît cependant dans les perméabilités moyennes - 4,8 % en 1980 contre 57,0 % en 1951 - pour s'amplifier légèrement pour les porosités les plus élevées. La diminution des porosités semble réelle.

##### 1.4.2 - Porosité mottière.

Ces porosités sont mesurées sur de petites mottes susceptibles d'être isolées, donc d'avoir une certaine cohésion. La porosité de ces mottes est inférieure à la porosité totale des sols, où la porosité comprise entre les mottes n'est pas négligeable.

Le graphique N°8 ressemble au précédent avec une diminution générale des résultats, ce qui est tout à fait normal vu la différence des phénomènes mesurés; on retrouve, avec une corrélation moyenne ( $r = 0,74$ ) l'égalité des porosités faibles (ici 30%, au lieu de 50% en saturé), une légère diminution des moyennes (34,1 % en 1980 contre 36,4 en 1951), l'amplification de la différence pour les valeurs les plus élevées. La diminution de porosité mottière est cependant proportionnellement plus forte que celle de la porosité saturée (pente de la droite de régression 0,59 au lieu de 0,74 avec un même coefficient constant 12,6).

### 1.5. Humidité à rétention

L'humidité dite "équivalente BOUYOCOS" en 1951 a été mesurée, après resaturation du sol préalablement séché et broyé, par aspiration en temps donné sous un vide assez relatif; l'humidité dite "à PF 3,0" en 1980 l'a été, après la même resaturation, à pression égale à 1 atmosphère et jusqu'à équilibre, donc certainement plus efficace que l'aspiration en 1951.

Nous ne présenterons donc pas de graphique mais rapporterons seulement les résultats des calculs habituels

$$y = 0,58 x + 4,16 \quad r = 0,79 \quad \text{moy. 1951} = 29,2 \pm 10,4 \quad \text{1980} = 21,2 \pm 7,7.$$

Nous pensons qu'il ne s'agit pas d'une diminution du pouvoir de rétention de l'eau par les sols mais simplement d'une modification des techniques d'analyse.

## 2°) - LES ANALYSES CHIMIQUES

Les divers éléments dosés en chimie doivent d'abord être extraits du sol. Pour le calcium, par exemple l'extraction à l'eau permettra d'obtenir le "Ca soluble", celle à l'acétate le "Ca échangeable", celle à un acide bouillant le "Ca total". Après quoi le dosage pourra être fait par les techniques diverses, fonction de l'époque mais aussi de l'équipement du laboratoire = précipité par l'oxalate d'ammonium à l'Office du Niger en 1951, dosé par absorption atomique à l'O.R.S.T.O.M. en 1980.

Les extractions 1980 ont été aussi proches que possible de celles de 1951, les techniques de dosage le plus souvent très différentes.

### 2.1. Matières organiques

Les matières organiques sont surtout composées de carbone et l'azote.

#### 2.1.1 - Carbone.

Les extractions ont été faites par oxydation sulfo-chromique.

Le graphique N°9 montrerait une légère diminution générale du carbone, ainsi qu'en témoignent les moyennes de 0,42% en 1951 et 0,35 % en 1980. Mais en fait la différence est seulement imputable à l'abaissement entre 1951 et 1980 de quelques taux élevés d'horizons de surface; ainsi, en otant des moyennes les chiffres des 5 horizons de surface qui dépassent 0,75%, on trouve de nouvelles moyennes qui sont 0,32% pour 1951 et 0,31% pour 1980.

Au total, le carbone n'a pas changé sauf dans les horizons de surface les plus riches où il a chuté de la moitié de sa valeur 1951. Il est particulièrement bas.

#### 2.1.2 - Azote.

Les extractions ont été faites à l'acide sulfurique bouillant en présence de catalyseurs.

Le graphique N°10 montre une légère diminution de l'azote, ainsi qu'en témoignent les moyennes de 0,045% en 1951 et 0,034% en 1980. En enlevant les chiffres des 5 horizons de surface dépassant 0,075%, on a comme nouvelles moyennes 0,038% en 1951 et 0,031 en 1980. La diminution subsiste. Comme le carbone, l'azote est particulièrement bas.

.../...

### 2.2.3 - Rapport C/N.

Il ne s'agit pas d'une analyse mais on a souvent l'habitude de calculer le rapport des résultats des deux analyses précédentes. Mais, en particulier lorsque ces chiffres sont bas, cette habitude est actuellement assez contestée. Aussi nous dirons seulement que comme le numérateur n'a pas bougé et que le dénominateur a un peu diminué, le rapport C/N a un peu augmenté : en excluant les 5 échantillons d'horizons de surface déjà exclus pour C et N, C/N moyen passe de 9,1 en 1951 à 10,0 en 1980.

Rappelons ici que B. DABIN considérait qu'en culture rizicole, où l'azote ammoniacal est le principal aliment azoté, la rapidité d'immobilisation conditionne les rendements; or l'ammonisation est d'autant meilleure que C/N est plus bas.

Une légère augmentation de C/N serait donc un facteur défavorable.

### 2.2. Phosphore

#### 2.2.1 - Reserve phosphorique.

Il s'agit du P total, extrait à l'acide nitrique bouillant. Une forte proportion de ce P n'est pas disponible pour les cultures mais seulement apte à le devenir sous certaines conditions.

Les dosages ont été faits en 1951 par alcalimétrie Lorentz-Sheffer et en 1980 par colorimétrie au bleu de Molybdène.

La droite de régression du graphique N°11, bien qu'avec un coefficient de corrélation petit ( $r = 0,45$ ) montre un très gros accroissement de la réserve phosphorique, qui se trouve multipliée par un facteur 4 à 5 autour de la moyenne des valeurs (puisque cette moyenne passe de 0,12% à 0,51) et encore par un facteur 2 à 3 autour des plus fortes valeurs.

L'accumulation du P est manifeste. Cependant plus de la moitié des sols est encore estimable comme pauvre en P (au-dessous de 0,4%), <sup>0,4%/100</sup> d'autres sols pouvant être considérés comme moyens (0,4 à 1%) et quelques autres comme bien pourvus ( $\geq 1\%$ ). <sup>1/100</sup>

#### 2.2.2 - Phosphore assimilable.

Ce dosage devrait donner une bonne idée du P à disposition des plantes. Bien qu'il n'ait pas été effectué en 1951, il l'a été en 1980 pour essayer d'en savoir davantage sur cet élément si important en agriculture. L'extraction s'est faite aux bicarbonates et fluorure de Na (Olsen-Dabin).

Les résultats ont été rapprochés de ceux de la réserve phosphorique sur le graphique N°12. On voit que la forme assimilable est de l'ordre de 5% de la forme totale pour les sols pauvres et 7 à 8% pour les riches-pourvus. Mais la corrélation est petite ( $r = 0,55$ ). Les "seuils critiques", au-dessous desquels la plante réagit sûrement à un apport, se situent autour de 0,040 à 0,070% suivant les types de sol. La quasi-totalité des échantillons se trouve donc au-dessous de ces seuils. Il est cependant probable qu'il y a davantage de P à disposition du riz, dans les conditions réductrices de sa culture, que n'en dose l'analyse sur échantillon prélevé en période sèche. *la limite est 4,25 ppm donc*

0,00425 % Olsen

2.3. Cations échangeables

*lit: Fertilizers and Soil fertility 2<sup>e</sup> edition Ulysses S Jones*

Ils ont été extraits à l'acétate d'ammonium normal neutre.

2.3.1 - Calcium.

L'observation du graphique N°13 montre qu'avec une corrélation encore acceptable ( $r = 0,68$ ) il n'y a pas eu de dérive systématique des résultats entre les deux époques d'analyse. Les valeurs au-dessous de 10 me/100g ont un peu augmenté (ainsi les moyennes sont passées de 7,5 à 8,7 me/100g), celles au-dessus de 10 un peu diminuées. Seuls les points représentatifs du profil SE échappent à ces remarques; comme leur pH (voir en 2.5) ont également subi une hausse tout à fait exceptionnelle il se pourrait qu'une action humaine soit à la base de ces anomalies (à moins que le profil SE soit <sup>à</sup> rejeter comme mal resitué en 1980; son rapport sable fin/sable grossier a déjà <sup>été</sup> examiné en 1. .2).

2.3.2 - Potassium.

Les points du graphique N°14 sont extrêmement dispersés. Beaucoup de résultats 1951 sont égaux à 0,26 - 0,27 ou 0,40 me/100g, traduisant le peu de sensibilité des dosages (cobaltinitrite de Na et distillation en présence d'alliage de Dewarda). Le coefficient de corrélation est extrêmement bas ( $r = 0,15$ ). Il semble cependant réel que beaucoup de K aient diminué d'au moins la moitié de leur valeur, comme l'indique d'ailleurs le passage de la moyenne de 0,39 à 0,17 me/100g.

Les points représentant le profil B sont détachés du groupe des autres points.

Le "seuil relatif de carence" souvent proposé est de 2% de la somme des cations échangeables, soit, en prenant les moyennes 1980 des différents cations =  $\frac{2}{100} (2,7 + 0,17 + 3,6 + 0,97) = 0,26$  me/100g.

$\frac{2}{100} \begin{matrix} Ca & K & Mg & Na & \dots/\dots \\ 2,7 & 0,17 & 3,6 & 0,97 & \dots/\dots \end{matrix} = 0,26$  me/100g.

### 2.3.3 - Magnésium.

Les points du graphique N°15 montrent l'extrême petitesse de la majorité des résultats 1951, dont 5 sont même égaux à zéro. Il semble maintenant, avec ce que l'on sait de la complexité du dosage 1951 (précipitation du phosphate ammoniac-magnésien et dosage de l'acide phosphorique du précipité) et du Mg de ces genres de sol qu'il faille s'abstenir d'interpréter les résultats autrement que par la vague indication qu'il est probable que le Mg échangeable ait augmenté; cette indication repose-rait sur les 8 dosages 1951 assez élevés (dépassant 2 me/100g) pour pouvoir être espérés plus acceptables.

Par contre les résultats 1980 sont fiables et la moyenne 1980 (3,6 me/100g) peut être rapprochée des moyennes de K<sup>et</sup> de Ca. En effet on estime que Mg/K devrait être compris entre 3 et 25 et que (Ca+Mg)/K devrait l'être entre 15 et 45.

Ici  $Mg/K = 3,6/0,17 = 21$   $(Ca+Mg)/K = (8,7+3,6)/0,17 = 72$ . Le deuxième au moins de ces rapports doit être considéré comme trop élevé, confirmant que le K mériterait d'être relevé.

### 2.3.4 - Sodium.

Comme pour le K, le groupement des résultats 1951 sur quelques valeurs (0,11 x 1 ou 2 ou 3 ou 4) traduit le peu de sensibilité de dosages faits au moyen du réactif de Blanchetière.

Le coefficient de corrélation du graphique N°16 est mauvais ( $r = 0,40$ ). Il semble cependant possible d'affirmer que beaucoup de Na ont plus que doublé - et même triplé pour la majorité des valeurs parmi lesquelles se situent les moyennes 1951 de 0,27 me/100g et 1980 de 0,97.

Pour certains sols il faut même parler de "sols à alcali". Rappelons qu'un "salant noir" avait déjà été signalé très localement, dès 1952, près de Kokry (B. DABIN) et près de Niono (G. AUBERT). Mais maintenant il semblerait qu'une tendance se soit dessinée en faveur de l'évolution vers l'alcalinité de sols qui ne l'étaient pas il y a une trentaine d'années.

L'antagonisme "sodium-potassium" pourrait peut-être expliquer un certain remplacement du K par du Na.

### 2.4. Capacité totale d'échange

Elle a été extraite en 1951 après désaturation du sol puis resaturation à l'eau de chaux, donc à pH largement supérieur à 8; en 1980, à pH 7,0. On doit donc s'attendre à des résultats nettement inférieurs en 1980.

.../...

(Ces résultats, qui ne nous sont pas encore parvenus, feront l'objet d'une note complémentaire)

## 2.5. pH.

Il s'agit des "pH eau", car mesurés dans une suspension sol/eau 1/2,5.

Le graphique N°17 montre qu'avec un coefficient de corrélation moyen ( $r = 0,74$ ) les pH ont augmenté d'une unité. Seuls les points représentatifs du profil SE traduisent un bond de 4 à environ 8; mais, comme indiqué en 2.3.1, s'agit-il d'une réalité, par exemple imputable à un phaulage, ou d'une erreur de localisation 1980 du profil ?

Cette augmentation du pH amène certains pH 1980 à dépasser 8,3, zone où on peut commencer à penser à la présence de sodium échangeable élevé. Le pH de deux échantillons dépasse même 9. C'est pourquoi nous avons tracé le graphique N°18 qui montre qu'au-dessus de pH 8,1 à 8,2, les pH sont en relation avec le sodium échangeable.

Pour mieux confirmer les valeurs 1980 du pH eau on a également mesuré le "pH KCl", dans une suspension de sol dans du chlorure de K normal. La corrélation est très bonne ( $r = 0,97$ ) avec la droite  $y = 1,01 x + 1,3$ ; les moyennes sont pH eau =  $7,1 \pm 1,3$  et pH. KCl =  $57 \pm 1,2$ ; on peut donc avoir une bonne confiance dans les mesures de pH.

De plus, les pH sont des valeurs faciles à mesurer. Comme les hauts pH sont liés aux Na échangeables, de mesure moins aisée (et même délicate lorsqu'une certaine salure introduit des Na solubles dans les extraits), nous pensons que la mesure de pH permettrait une connaissance suffisante de l'alcalinité, connaissance actuellement insuffisante.

o) - INFLUENCE DES TYPES DE SOL, DES CULTURES, DE L'ENVIRONNEMENT

Il est certain que le sol, c'est-à-dire à la fois le type auquel il appartient et les vicissitudes qu'il a subies (en particulier ici les submersions et les planages) mais aussi son environnement, ont influé sur les corrélations recherchées.

Nous présentons ci-après un tableau donnant, pour chaque endroit prélevé, les informations dont nous disposons, à savoir :

- le rattachement à un type de sol
- tel qu'il est proposé dans une liste datant de 1951
- tel qu'il a été cartographié vers cette même époque
- tel qu'il a été indiqué par les gens ayant prélevé les nouveaux échantillons en 1980
- tel qu'il pourrait être dénommé dans le cadre de la classification de la Commission de Pédologie et de Cartographie des sols (Paris-1967).
- le passé cultural des 30 dernières années, autant qu'il a été possible de le reconstituer
- des indications de planage pl ou de modification de digues (D1)

Le problème apparaît complexe (les types de sol manquent de précision, les mêmes cultures ont plus ou moins intéressé tous les sols, les apports fertilisants sont insuffisamment connus...) et le nombre de prélèvements est si réduit que le moindre écart, dû à un cas particulier, fausse tout.

### 3.1. Types de sols.

Aussi, et seulement pour les déterminations qui avaient suggéré les évolutions les plus nettes - à savoir : chute du taux d'agrégats, des perméabilités après 1 heure, augmentation des réserves en phosphore, baisse du potassium échangeable - nous avons introduit la séparation entre 4 types de sol (brun, brun rouge, ferrugineux, hydromorphe).

Les graphiques N°19 à 23 présentent par des segments de droite les régressions propres à chaque type de sol et par des lignes interrompues les régressions tous sols confondus (reprises des graphiques déjà présentés auparavant). Tous ces graphiques montrent, sauf parfois pour les sols bruns, des améliorations des coefficients de corrélation et permettent également de nuancer les affirmations énoncées tous sols confondus.



Par exemple, pour les P totaux, au lieu de parler d'un accroissement de 2 à 5 fois, on peut dire que cet accroissement s'applique aux sols bruns, bruns rouges et hydromorphes mais qu'il faudrait parler de plus de 10 fois pour les ferrugineux (qui, il est vrai, étaient particulièrement mal pourvus en 1951).

Nous nous arrêterons d'ailleurs à ce seul exemple car nos nouvelles affirmations ne reposent plus que sur quelques résultats seulement (5 échantillons appartenant à 2 profils pour les sols ferrugineux) et sont donc bien fragiles.

Il est, à plus forte raison, exclu de rechercher l'influence d'un mode de culture à l'intérieur d'un type de sol.

### 3.2. Mode de culture

C'est pourquoi nous avons, sur le graphique N°23, recherché tous types de sols réunis l'abaissement 1951-1980 du taux d'agrégats en fonction de l'occupation des champs en - riz (et jachère)

- riz et un peu de coton

- coton dominant et riz.

On peut voir qu'après des origines du même ordre de grandeur, dans la zone  $x = 20$  à  $30$ ,  $y = 10$  à  $20$  (correspondant donc à un abaissement moyen de 25 à 15 du taux d'agrégats), seul le segment C (coton dominant riz) conserve une pente faible, amenant aux abaissements les plus importants (60 en 1951 pour 20 en 1980).

### 3.3. Environnement :

Nous ne ferons que mentionner ce terme, qui recouvre une foule de facteurs dont l'état en 1951 nous est trop peu connu pour que nous les introduisions dans la comparaison.

ainsi

Leur importance peut pourtant être grande :/ la présence à faible profondeur d'une nappe d'eau peut suffire à expliquer l'alcalinisation localement constatée. Pour illustrer cela nous avons calculé, à partir d'analyses d'eaux présentées dans le rapport "conditions hydrogéologiques et pédologiques et d'amélioration des terres des nouveaux aménagements du Kala inférieur et Kouroumari (Mission Soviétique - 1964)" les quelques moyennes suivantes :

| Prélèvements  | résidu<br>sec<br>(g/l) | $SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}}$ | $SAR \text{ ajusté} = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} [1+(8,4-pH)]$ |
|---|------------------------|---|---|
| eau dans des distrib.   | 0,054                  | 0,3                                       | eau agressive   |
| eau dans des partit.  | 0,246                  | 1,2                                       | eau agressive   |
| eau de puits (profon-<br>deur moyenne: 2,8 m)<br>à proximité des ca-<br>naux précédents | 0,601                  | 3,1                                       | 7,4   |

On voit qu'à mesure que l'eau passe des distributeurs aux parti-  
cules pour finir par atteindre la nappe elle se concentre ainsi que son  
SAR 10 à 11 fois; elle est agressive dans les canaux, <sup>mais</sup> dépose en traversant  
le sol des carbonates très peu solubles (Ca et Mg), ce qui se traduit par  
un SAR ajusté plus <sup>du</sup> double du SAR ne tenant pas compte de ces dépôts.

Cette concentration relative en Na est une voie d'alcalinisation.  
Pour tous les facteurs d'environnement on aurait pu envisager  
l'utilisation de programmes mathématiques multi-variants; mais on se se-  
rait heurté au petit nombre d'échantillons.

4°) Conclusion :

Le rapprochement de résultats d'analyses de sols obtenues en 1951, sensiblement aux mêmes points, en 1980 a principalement montré :

- une diminution d'environ 50% des taux d'agrégats stables à l'eau
- une augmentation de dispersion des sols gorgés,
- une chute d'environ 300% des perméabilités (à la fin d'une heure de percolation),
- un tassement des porosités vers les faibles valeurs,
- et quatre traductions concordantes de la dégradation des propriétés physiques des sols.

- une diminution d'environ 30% d'un azote déjà très bas.
- une augmentation d'environ 400% des réserves phosphoriques (qui restent cependant encore faibles à moyennes),
- une chute d'environ 50 % du potassium à disposition des plantes (qui passe au-dessous du seuil de carence),
- une augmentation de 200% du sodium échangeable (qui localement évolue vers de 15% de la capacité totale d'échange),
- une augmentation de 1 unité des pH (qui, localement, en liaison avec le sodium, dépassent 9),

soit un ensemble complexe de modifications chimiques, les unes favorables (stock phosphorique, pH croissant s'il reste au-dessous de 7 à 8), les autres défavorables (potassium, sodium; pH croissant au-dessus de 8,5).

Maintenant qu'un petit groupe de profils a permis de décélérer ces orientations évolutives, nous pensons qu'il conviendrait que les Services de l'Office du Niger mettent en place quelques essais permettant de juger de l'efficacité d'actions destinées prioritairement:

- à la correction de la structure physique des terres
- au rétablissement du niveau potassique au-dessus du seuil de carence,
- à la lutte contre le sodium.

Ce dernier point devrait être complété par une campagne assez systématique de mesure du pH, détermination peu coûteuse, destinée à apprécier l'étendue actuelle des zones en cours d'alcalinisation.



OFFICE DU NIGER  
BUREAU DES ETUDES GENERALES  
SEGOU

ASSOCIATION INTERNATIONALE  
DE DEVELOPPEMENT

# EVOLUTION DES SOLS

---

RESULTATS DES ANALYSES

1951 ET 1980

| CENTRE (SECTEUR)   |  |   | KOKRY (NARA) |       |       |       |       |       |       |       |      |
|--|--|---|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| POINT DE PRELEVEMENT   |  |   | FO           |       |       | SE    |       | SA    |       |       |      |
| PROFONDEUR CM  |  |   | 0-25         | 25-50 | 50-75 | 0-25  | 25-50 | 0-25  | 25-   |       |      |
| MESURES  | Granulométries %                         | SG  | 1951         | 6,6   | 1,5   | 1,2   | 5,3   | 4,8   | 8,6   | 6,    |      |
|  |  |   | 1980         | 15,4  | 26,8  | 25,4  | 2,4   | 1,9   | 7,1   | 2,    |      |
|  |  | SF  | 1951         | 23,4  | 15,9  | 15,6  | 26,9  | 16,6  | 26,1  | 20,   |      |
|  |  |   | 1980         | 68,9  | 54,3  | 55,1  | 14,4  | 14,1  | 20,4  | 15,   |      |
|  |  | L   | 1951         | 28,4  | 17,4  | 13,1  | 27,7  | 15,7  | 26,3  | 19,   |      |
|  |  |   | 1980         | 4,2   | 3,7   | 4,7   | 13,8  | 12,7  | 13,9  | 10,   |      |
|  |  | A   | 1951         | 41,6  | 65,2  | 70,1  | 40,0  | 62,2  | 38,9  | 53,   |      |
|  |  |   | 1980         | 11,4  | 15,3  | 14,8  | 69,4  | 71,3  | 53,7  | 74,   |      |
|  |  | Particules > 0,2 mm %                           | 1951         | 34,5  | 52,7  | 48,2  | 38,1  | 60,   | 46,8  | 56,   |      |
|  |  |   | 1980         | 25,3  | 26,5  | 25,2  | 27,2  | 27,3  | 35,7  | 42,   |      |
|  | Dispersion Concentrée<br>élem. < 20µ/A+L | 1951  | 70           | 37    | 0     | 2,4   | 0     | 0     | 0     |       |      |
|  |  | 1980  | 43,1         | 44,3  | 45,5  | 40,8  | 34,4  | —     | —     |       |      |
|  | PHYSIQUES                                | Perméabilité<br>cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> | 1 heure      | 1951  | 0,035 | 0,066 | 0,050 | 0,045 | 0,500 | 0,250 | 0,36 |
|  |  |   | 1980         | 0,053 | 0,058 | 0,060 | 0,015 | 0,010 | 0,087 | 0,09  |      |
|  |  | 15 heures                                       | 1951         | 0,013 | 0,009 | 0,000 | 0,006 | 0,250 | 0,030 | 0,05  |      |
| 1980   |  |   | 0,004        | 0,017 | 0,015 | 0,005 | 0,003 | 0,025 | 0,02  |       |      |
| Porosité %   | Saturée                                  | 1951  | 35           | 60    | 62    | 64    | 63,5  | 64    | 65    |       |      |
|  |  | 1980  | 52           | 49    | 48    | 60    | 58    | 59    | 63    |       |      |
|  | Sol sec                                  | 1951  | 24           | 41,5  | 48    | 46    | 45    | 51    | 45    |       |      |
|  |  | 1980  | 42,3         | 34,9  | 34,8  | 35,4  | 35,4  | 48,9  | 46,   |       |      |
| Humidité équivalente<br>% poids PF 3,0                             | 1951                                     | 25,9  | 24,1         | 20,5  | 41,9  | 38,6  | 48,0  | 38,   |       |       |      |
|  | 1980                                     | 6,4   | 7,6          | 7,9   | 27,3  | 27,9  | 29,9  | 34,   |       |       |      |
| ANALYSES   | M.O. %                                   | C   | 1951         | 0,78  | 0,41  | 0,41  | 1,38  | 0,44  | 1,26  | 0,5   |      |
|  |  |   | 1980         | 0,19  | 0,16  | 0,13  | 0,38  | 0,32  | 0,66  | 0,8   |      |
|  |  | N   | 1951         | 0,078 | 0,042 | 0,019 | 0,087 | 0,050 | 0,083 | 0,04  |      |
|  |  |   | 1980         | 0,019 | 0,018 | 0,016 | 0,033 | 0,024 | 0,065 | 0,00  |      |
|  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ‰          | Tot.<br>Assim.                                  | 1951         | 0,25  | 0,17  | 0,17  | 0,38  | 0,26  | 0,19  | 0,3   |      |
|  |  |   | 1980         | 0,18  | 0,19  | 0,18  | 0,47  | 0,44  | 1,22  | 0,7   |      |
|  |  |   | 1980         | 0,015 | 0,010 | 0,020 | 0,017 | 0,020 | 0,040 | 0,03  |      |
|  | CHIMIQUES                                | Ca  | 1951         | 4,4   | 4,4   | 4,8   | 3,2   | 2,0   | 4,8   | 5,    |      |
|  |  |   | 1980         | 1,8   | 3,0   | 3,45  | 18,0  | 19,2  | 5,25  | 4,5   |      |
|  |  | K   | 1951         | 0,80  | 0,26  | 0,26  | 0,80  | 0,47  | 0,47  | 0,6   |      |
| 1980   |  |   | 0,14         | 0,10  | 0,10  | 0,18  | 0,18  | 0,09  | 0,0   |       |      |
| Cations<br>échangeables<br>et capacité totale<br>d'échange me/100g |  | Mg  | 1951         | 0,06  | 0,12  | 0,09  | 0     | 0,05  | 0,08  | 0     |      |
|  |  |   | 1980         | 1,2   | 1,5   | 1,05  | 3,75  | 3,3   | 2,95  | 1,5   |      |
| Na   |  | 1951  | 0,34         | 0,57  | 0,68  | 0,11  | 0     | 0     | 0     |       |      |
|  |  | 1980  | 0,03         | 0,08  | 0,10  | 0,37  | 0,54  | 0,13  | 0,1   |       |      |
| T  |  | 1951  | 44,0         | 46,0  | 46,0  | 67,0  | 69,0  | 76,0  | 74,   |       |      |
|  |  | 1980  |              |       |       |       |       |       |       |       |      |
| PH   | 1951                                     | 5,7   | 5,5          | 5,7   | 4,1   | 4,0   | 4,1   | 4,    |       |       |      |
|  | 1980                                     | 6,4   | 6,9          | 7,0   | 7,5   | 8,0   | 5,3   | 5,    |       |       |      |

# KOKRY (LAGO)

# MOLODO

|      | D1    |       | D2    |       |       | D3    |       |       | M1    |       |       | M2    |       |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      | 0-30  | 30-60 | 0-25  | 25-50 | 50-75 | 0-25  | 25-50 | 50-75 | 0-25  | 25-50 | 50-75 | 0-30  | 30-60 |
| 6-50 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 24   | 6,9   | 6,2   | 4,9   | 7,7   | 11,8  | 5,4   | 2,3   | 6,7   | 13,9  | 8,7   | 7,5   | 21,8  | 3,1   |
| 44   | 4,1   | 3,1   | 6,4   | 5,3   | 4,3   | 2,9   | 5,5   | 3,1   | 21,4  | 21,6  | 11,9  | 20,7  | 1,1   |
| 25   | 19,9  | 15,2  | 16,4  | 15,8  | 19,9  | 15,9  | 15,0  | 17,9  | 38,5  | 17,5  | 15,2  | 64,1  | 1,1   |
| 53   | 12,2  | 12,7  | 19,9  | 24,2  | 21,0  | 15,5  | 11,5  | 10,1  | 31,1  | 22,2  | 19,5  | 57,5  | 1,1   |
| 50   | 23,0  | 14,5  | 22,5  | 18,0  | 18,1  | 22,2  | 14,1  | 13,9  | 14,9  | 15,8  | 11,7  | 4,3   | 1,1   |
| 6    | 7,1   | 8,1   | 7,5   | 15,1  | 8,9   | 16,6  | 6,2   | 6,8   | 5,5   | 6,1   | 5,0   | 5,3   | 1,1   |
| 39   | 50,2  | 64,1  | 56,2  | 58,4  | 50,1  | 56,5  | 68,6  | 61,5  | 32,7  | 57,9  | 65,6  | 9,8   | 1,1   |
| 7    | 72,1  | 76,1  | 64,2  | 55,4  | 65,7  | 65,2  | 76,9  | 79,7  | 41,9  | 50,1  | 63,6  | 16,5  | 1,1   |
|      | 41,5  | 72,7  | 65,1  | 72,7  | 66,3  | 42,0  | 64,6  | 45,0  | 50,1  | 39,2  | 45,2  | 43,2  | 1,1   |
|      | 44,7  | 57,1  | 39,2  | 38,8  | 39,5  | 21,3  | 40,1  | 48,3  | 29,7  | 30,0  | 18,2  | 23,0  | 1,1   |
|      | 0     | 6     | 20    | 3     | 0     | 15    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 17,5  | 1,1   |
|      | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | 44,9  | 62,6  | 1,1   |
| 95   | 0,080 | 0,350 | 0,130 | 0,280 |       | 0,065 | 0,320 |       | 0,070 | 0,096 | 0,068 | 0,043 | 0,010 |
| 95   | 0,073 | 0,098 | 0,117 | 0,132 |       | 0,012 | 0,088 |       | 0,050 | 0,045 | 0     | 0,035 | 0,010 |
| 95   | 0,019 | 0,069 | 0,054 | 0,022 |       | 0,011 | 0,065 |       | 0,006 | 0,015 | 0,015 | 0,011 | 0,010 |
| 95   | 0,002 | 0,022 | 0,022 | 0,033 |       | 0,013 | 0,023 |       | 0,023 | 0,015 | 0     | 0,013 | 0,010 |
| 5    | 63    | 60    | 64    | 62    |       | 68    | 63    |       | 55    | 59    | 57    | 47    | 5     |
| 3    | 62    | 63    | 66    | 66    |       | 61    | 64    |       | 54    | 53    | 53    | 41    | 5     |
| 5    | 50    | 45    | 51    | 53    |       | 48    | 41    |       | 32    | 29,5  | 28    | 42    | 3     |
| 2    | 43,4  | 41,8  | 46,2  | 47,8  |       | 39,5  | 44,8  |       | 35,4  | 35,0  | 31,9  | 27,0  | 3     |
| 1    | 39,0  |       | 48,5  |       |       | 44,0  |       |       | 31,6  | 28,6  | 32,7  | 23,2  | 2     |
| 2    | 29,8  |       | 34,1  |       |       | 31,1  |       |       | 17,6  | 19,6  | 25,4  | 8,1   | 10    |
| 5    | 0,96  | 0,51  | 1,1   | 0,58  | 0,71  | 0,93  | 0,47  | 0,44  | 0,60  | 0,28  | 0,26  | 0,37  | 0,010 |
| 7    | 0,68  | 0,76  | 0,66  | 0,72  | 0,63  | 0,68  | 0,61  | 0,50  | 0,34  | 0,25  | 0,19  | 0,21  | 0,010 |
| 7    | 0,084 | 0,045 | 0,112 | 0,062 | 0,062 | 0,106 | 0,050 | 0,053 | 0,062 | 0,031 | 0,028 | 0,031 | 0,010 |
| 1    | 0,067 | 0,072 | 0,076 | 0,070 | 0,059 | 0,060 | 0,054 | 0,034 | 0,034 | 0,027 | 0,023 | 0,023 | 0,010 |
| 2    | 0,17  | 0,07  | 0,18  | 0,20  | 0,04  | 0,48  | 0,19  | 0,18  | 0,18  | 0,01  | 0,02  | 0,14  | 0,010 |
| 15   | 0,94  | 1,08  | 0,98  | 1,50  | 1,27  | 1,19  | 1,07  | 0,89  | 0,35  | 0,35  | 0,32  | 0,19  | 0,010 |
| 10   | 0,025 | 0,050 | 0,035 | 0,110 | 0,040 | 0,040 | 0,050 | 0,035 | 0,020 | 0,020 | 0,010 | 0,050 | 0,030 |
| 15   | 8,5   | 1,6   | 4,7   | 4,4   | 6,6   | 4,7   | 4,4   | 2,4   | 12,0  | 12,0  | 13,0  | 1,2   | 2,1   |
| 5    | 4,8   | 2,25  | 6,75  | 4,5   | 3,3   | 8,25  | 4,5   | 3,0   | 5,25  | 6,0   | 12,7  | 2,25  | 3,1   |
| 14   | 0,40  | 0,26  | 0,52  | 0,13  | 0,26  | 0,40  | 0,13  | 0,26  | 0,40  | 0,27  | 0,27  | 0,27  | 0,2   |
| 9    | 0,15  | 0,11  | 0,09  | 0,07  | 0,07  | 0,10  | 0,09  | 0,09  | 0,11  | 0,11  | 0,18  | 0,08  | 0,15  |
| 1    | 0,14  | 0,09  | 0,09  | 0,12  | 0,60  | 0,14  | 0,12  | 0,06  | 0,17  | 0,06  | 0,14  | 0     | 0,2   |
| 5    | 1,95  | 0,75  | 2,25  | 1,5   | 1,2   | 3,0   | 1,5   | 1,5   | 3,75  | 3,0   | 4,5   | 1,5   | 1,5   |
| 1    | 0,11  | 0,11  | 0,33  | 0,11  | 0     | 0,44  | 0,22  | 0,11  | 0     | 0,11  | 0     | 0     | 0,22  |
| 5    | 0,38  | 0,22  | 0,56  | 0,48  | 0,45  | 0,42  | 0,34  | 0,34  | 0,39  | 0,58  | 1,40  | 0,05  | 0,05  |
| 0    | 56,0  | 65,6  | 65,2  | 70,8  | 72,4  | 60,0  | 65,6  | 69,6  | 49,2  | 46,8  | 45,6  | 20,0  | 26,8  |
| 1    | 5,0   | 4,9   | 5,2   | 5,4   | 5,3   | 5,1   | 4,8   | 4,8   | 6,8   | 6,8   | 6,8   | 5,3   | 5,7   |
| 1    | 5,6   | 5,5   | 6,8   | 5,6   | 5,6   | 5,5   | 5,8   | 5,2   | 6,7   | 6,2   | 8,5   | 7,0   | 7,0   |

ODO

NIONC

| M2    |       | M3    |       | A     |       |       | B     |       |       | C     |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 30    | 30-60 | 0-30  | 30-60 | 0-25  | 25-50 | 50-75 | 0-25  | 25-50 | 50-75 | 0-25  | 25-50 | 50-75 | 0-25  |
| 18    | 15,2  | 5,7   | 3,6   | 9,9   | 7,9   | 8,2   | 41,0  | 31,9  | 31,7  | 13,8  | 11,0  | 11,4  | 8,1   |
| 20,7  | 15,9  | 12,4  |       | 9,6   | 9,9   | 8,1   | 33,2  | 28,0  | 27,1  | 10,9  | 12,0  | 11,6  | 4,6   |
| 21,1  | 54,0  | 17,2  | 18,9  | 26,7  | 21,7  | 22,6  | 50,5  | 38,4  | 38,9  | 49,9  | 45,8  | 49,6  | 15,5  |
| 27,5  | 56,3  | 28,0  |       | 23,8  | 24,2  | 23,9  | 36,6  | 32,8  | 33,8  | 46,4  | 43,9  | 44,5  | 11,8  |
| 4,3   | 10,3  | 11,3  | 16,3  | 8,6   | 12,4  | 10,5  | 4,2   | 9,9   | 6,3   | 12,8  | 18,5  | 13,0  | 8,7   |
| 5,3   | 5,9   | 14,0  |       | 7,0   | 7,0   | 7,0   | 4,3   | 4,3   | 4,3   | 8,1   | 9,2   | 8,6   | 6,0   |
| 9,8   | 20,5  | 65,8  | 67,2  | 54,8  | 58,0  | 58,7  | 4,2   | 19,8  | 23,1  | 23,5  | 24,7  | 26,0  | 67,7  |
| 8,5   | 22,0  | 45,6  |       | 59,6  | 58,9  | 61,0  | 25,9  | 34,9  | 34,8  | 31,6  | 35,0  | 35,3  | 77,7  |
| 2,2   | 37,2  | 47,8  | 30,8  | 55,6  | 60,8  | 49,5  | 59,6  | 51,6  | 49,5  | 21,5  | 25,2  | 22,6  | 48,5  |
| 2,0   | 16,2  | 27,5  | 16,1  | 30,9  | 24,5  | 24,0  | 34,6  | 30,3  | 28,5  | 11,2  | 13,8  | 16,4  | 17,5  |
| 2,5   | 15    | 0     | 43,5  | 0     | 0     | 0     | 34    | 4     | 0     | 15    | 21,5  | 13    | 16    |
| 2,6   | 71,9  | 42,6  | 42,6  | 23,4  | 28,7  | 35,5  | 56,3  | 49,0  | 46,2  | 50,2  | 47,5  | 47,0  | 47,0  |
| 0,083 | 0,057 | 0     | 0,024 | 0,017 | 0,049 | 0,065 | 0,065 | 0,080 | 0,004 | 0,002 | 0     | 0,008 |       |
| 0,035 | 0,040 | 0,012 | 0     | 0,008 | 0,005 | 0,010 | 0,068 | 0,047 | 0,038 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,058 |
| 0,028 | 0,002 | 0     | 0,002 | 0,002 | 0,007 | 0,015 | 0,004 | 0,011 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,001 |
| 0,013 | 0,003 | 0,001 | 0,005 | 0,003 | 0,007 | 0,035 | 0,030 | 0,020 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,015 |
| 47    | 54    | 60    |       | 58    | 55    | 58    | 40    | 45    | 50    | 59    | 56    | 57    | 51    |
| 41    | 50    | 55    |       | 53    | 53    | 54    | 47    | 47    | 45    | 54    | 55    | 55    | 58    |
| 42    | 35    | 36    | 29    | 28    | 23,5  | 26    | 31,5  | 33    | 32    | 35    | 31    | 25,5  | 32,5  |
| 27,0  | 33,3  | 31,0  | 29,0  | 32,3  | 32,6  | 28,1  | 34,1  | 30,0  | 25,5  | 30,6  | 31,4  | 30,3  | 33,1  |
| 3,2   | 20,4  | 31,0  | 42,9  | 37,0  | 24,7  | 32,2  | 14,8  | 13,8  | 16,5  | 34,6  | 23,0  | 27,7  | 32,0  |
| 3,1   | 10,5  | 19,3  | 24,5  | 22,4  | 22,1  | 23,0  | 10,4  | 14,7  | 15,1  | 17,7  | 19,0  | 18,6  | 25,2  |
| 37    | 0,12  | 0,37  | 0,37  | 0,31  | 0,25  | 0,29  | 0,13  | 0,19  | 0,13  | 0,13  | 0,06  | 0,11  | 0,38  |
| 21    | 0,16  | 0,29  | 0,24  | 0,31  | 0,24  | 0,23  | 0,20  | 0,18  | 0,15  | 0,08  | 0,08  | 0,06  | 0,41  |
| 31    | 0,022 | 0,055 | 0,036 | 0,045 | 0,036 | 0,031 | 0,028 | 0,028 | 0,025 | 0,034 | 0,028 | 0,022 | 0,039 |
| 0     | 0,020 | 0,025 | 0,019 | 0,029 | 0,025 | 0,031 | 0,023 | 0,022 | 0,021 | 0,013 | 0,011 | 0,012 | 0,032 |
| 14    | 0,01  | 0,30  | 0,01  | 0,15  | 0,05  | 0,03  | 0,03  | 0,01  | 0,02  | 0,07  | 0,07  | 0,03  | 0,15  |
| 19    | 0,21  | 0,20  | 0,22  | 0,36  | 0,35  | 0,34  | 0,25  | 0,26  | 0,26  | 0,19  | 0,21  | 0,22  | 0,51  |
| 50    | 0,038 | 0,015 | 0,040 | 0,020 | 0,015 | 0,035 | 0,060 | 0,015 | 0,020 | 0,025 | 0,050 | 0,025 | 0,018 |
| 2     | 2,0   | 12,0  | 16,0  | 15,0  | 13,2  | 15,0  | 1,2   | 1,6   | 2,4   | 4,0   | 6,0   | 7,6   | 13,5  |
| 25    | 3,0   | 12,7  | 13,9  | 14,3  | 13,8  | 14,5  | 3,75  | 4,8   | 5,25  | 7,8   | 7,8   | 7,5   | 20,2  |
| 27    | 0,27  | 0,27  | 0,27  | 0,80  | 0,40  | 0,40  | 0,40  | 0,27  | 0,40  | 0,40  | 0,40  | 0,27  | 0,53  |
| 0,8   | 0,15  | 0,17  | 0,23  | 0,20  | 0,16  | 0,16  | 0,22  | 0,27  | 0,22  | 0,11  | 0,10  | 0,09  | 0,40  |
| 0     | 0,29  | 0     | 2,6   | 0,14  | 0,58  | 2,70  | 0,08  | 0,06  | 0     | 2,60  | 0,70  | 1,12  | 4,50  |
| 5     | 1,5   | 4,5   | 5,55  | 4,2   | 4,65  | 4,5   | 1,5   | 1,95  | 2,25  | 4,5   | 4,2   | 4,5   | 6,0   |
| 0     | 0,22  | 0     | 1,10  | 0,11  | 0,22  | 0,22  | 0,11  | 0,33  | 0,11  | 0,33  | 0,90  | 1,00  | 1,10  |
| 0,5   | 0,05  | 1,40  | 1,96  | 0,74  | 0,67  | 0,49  | 0,06  | 0,07  | 0,07  | 1,34  | 1,22  | 1,26  | 1,48  |
| 0,0   | 26,8  | 56,0  | 49,6  | 46,0  | 43,6  | 42,0  | 8,4   | 14,4  | 21,6  | 27,6  | 30,8  | 30,0  | 46,8  |
| 3     | 5,7   | 6,0   | 7,2   | 6,5   | 6,7   | 6,9   | 6,4   | 5,2   | 5,5   | 7,2   | 7,2   | 7,3   | 6,9   |
| 0     | 7,0   | 8,2   | 8,5   | 8,1   | 8,2   | 8,2   | 6,9   | 6,8   | 7,1   | 8,8   | 8,6   | 8,7   | 8,5   |

N'ONO(N'DEBOUGOU)

| D     |        | E     |       |       | F     |       |       | 7     |       | 8     |       |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 25-50 | 50-75  | 0-25  | 25-50 | 50-75 | 0-25  | 25-50 | 50-75 | 0-25  | 25-50 | 0-30  | 30-60 |
| 6.9   | 6.3    | 19,2  | 14,4  | 13.6  | 10,3  | 11,2  | 8,2   | 12,2  | 9,4   | 15,0  | 10,5  |
| 3,5   | 2,8    | 18,0  | 16,3  | 15,8  | 6,5   | 7,5   | 7,4   | 15,2  | 9,8   | 4,3   | 3,5   |
| 13,8  | 15,5   | 66,3  | 59,4  | 53,7  | 23,8  | 22,4  | 18,4  | 44,7  | 38,4  | 68,1  | 43,0  |
| 11,2  | 10,8   | 61,5  | 59,7  | 51,4  | 20,7  | 20,1  | 19,6  | 54,5  | 46,9  | 84,4  | 81,9  |
| 14,3  | 12,3   | 3,1   | 5,0   | 7,7   | 14,9  | 12,8  | 15,1  | 10,7  | 10,4  | 19,0  | 16,8  |
| 6,0   | 6,1    | 4,3   | 6,9   | 5,4   | 5,6   | 5,5   | 6,1   | 10,1  | 11,7  | 10,9  | 11,9  |
| 65,0  | 65,8   | 11,4  | 21,2  | 25,0  | 51,0  | 53,5  | 58,3  | 32,3  | 41,7  | 16,9  | 31,7  |
| 7,3   | 8,3    | 16,1  | 17,2  | 27,4  | 67,3  | 66,9  | 66,7  | 20,5  | 31,7  | 65,5  | 62,7  |
| 48,6  | 36,0   | 31,1  | 37,7  | 32,5  | 46,7  | 48,1  | 65,0  | 42,0  | 34,6  | 40,7  | 51,0  |
| 20,6  | 10,1   | 19,3  | 17,9  | 17,6  | 21,9  | 24,5  | 6,8   | 14,3  | 11,3  | 17,5  | 14,9  |
| 0     | 7      | 19    | 13    | 15    | 0     | 0     | 0     | 13    | 5,6   | 2,7   | 13    |
| 52,7  | 45,7   | 59,6  | 58,8  | 65,0  | -     | 56,5  | 51,9  | 58,7  | 51,1  | -     | -     |
| 0,013 | 0,028  | 0,035 | 0,082 | 0,093 | 0,100 | 0,120 | 0,043 | 0,072 | 0,086 | 0,025 | 0,013 |
| 0,004 | 0      | 0,047 | 0,015 | 0,025 | 0,015 | 0,008 | 0     | 0,017 | 0,008 | 0,017 | 0,015 |
| 0,002 | 0      | 0,013 | 0,026 | 0,043 | 0,022 | 0,037 | 0,006 | 0,017 | 0,015 | 0,021 | 0     |
| 0,003 | 0      | 0,022 | 0,008 | 0,013 | 0,007 | 0,002 | 0     | 0,005 | 0,003 | 0,025 | 0,003 |
| 50    | 52     | 48    | 50    | 54    | 58    | 62    | 65    | 56    | 59    | 57    | 69    |
| 61    | 57     | 48    | 42    | 47    | 55    | 61    | 57    | 48    | 48    | 39    | 21    |
| 31    | 31     | 36    | 37    | 36    | 39    | 29    | 27    | 38    | 36,5  | 38,5  | 36    |
| 31,9  | 31,3   | 33,4  | 26,6  | 26,5  | 31,6  | 28,3  | 28,1  | 34,9  | 27,3  | 28,8  | 26,7  |
| 24,0  | 36,2   | 13,0  | 14,2  | 14,0  | 30,0  | 19,0  | 31,7  | 20,0  | 23,3  | 16,6  | 25,7  |
| 26,6  | 29,2   | 7,9   | 9,7   | 13,1  | 26,4  | 27,4  | 29,1  | 10,5  | 16,1  | 24,1  | 26,2  |
| 0,28  | 0,38   | 0,24  | 0,14  | 0,17  | 0,48  | 0,30  | 0,33  | 0,37  | 0,21  | 0,37  | 0,12  |
| 0,36  | 0,34   | 0,38  | 0,34  | 0,26  | 0,29  | 0,28  | 0,30  | 0,16  | 0,17  | 0,25  | 0,25  |
| 0,037 | 0,031  | 0,028 | 0,028 | 0,022 | 0,048 | 0,034 | 0,042 | 0,039 | 0,037 | 0,042 | 0,015 |
| 0,031 | 0,028  | 0,037 | 0,029 | 0,026 | 0,029 | 0,022 | 0,023 | 0,024 | 0,026 | 0,030 | 0,028 |
| 0,13  | 0,10   | 0,07  | 0,09  | 0,08  | 0,09  | 0,07  | 0,09  | 0,03  | 0,01  | 0,05  | 0,01  |
| 0,49  | 0,49   | 0,23  | 0,22  | 0,25  | 0,33  | 0,32  | 0,33  | 0,27  | 0,35  | 0,49  | 0,42  |
| 0,015 | -0,030 | 0,025 | 0,015 | 0,020 | 0,045 | 0,010 | 0,012 | 0,018 | 0,020 | 0,012 | 0,028 |
| 13,5  | 18,0   | 16    | 1,2   | 1,2   | 15,2  | 13,2  | 17,3  | 6,4   | 6,4   | 3,6   | 5,2   |
| 20,2  | 19,5   | 3,0   | 3,0   | 2,7   | 16,5  | 17,2  | 12,0  | 2,7   | 4,5   | 2,5   | 7,5   |
| 0,27  | 0,40   | 0,40  | 0,27  | 0,27  | 0,40  | 0,50  | 0,50  | 0,68  | 0,68  | 0,40  | 0,68  |
| 0,39  | 0,42   | 0,11  | 0,14  | 0,23  | 0,29  | 0,22  | 0,20  | 0,11  | 0,23  | 0,33  | 0,33  |
| 2,80  | 3,75   | 0,08  | 0,03  | 0     | 0,40  | 5,00  | 5,00  | 0,45  | 0,06  | 0,03  | 0,03  |
| 6,0   | 5,25   | 0,75  | 1,5   | 1,8   | 11,2  | 11,3  | 13,5  | 1,5   | 1,95  | 1,30  | 3,0   |
| 1,00  | 1,10   | 0,11  | 0,11  | 0,22  | 0,11  | 0     | 0,22  | 0,11  | 0,11  | 0,22  | 0,25  |
| 2,82  | 4,60   | 0,10  | 0,06  | 0,09  | 2,40  | 3,78  | 6,06  | 0,06  | 0,07  | 0,28  | 0,33  |
| 41,2  | 49,2   | 11,6  | 12,0  | 24,8  | 46,0  | 48,0  | 48,8  | 41,2  | 45,2  | 32,0  | 38,0  |
| 6,8   | 7,2    | 6,2   | 5,5   | 5,5   | 7,0   | 7,0   | 7,1   | 6,0   | 5,5   | 6,0   | 6,7   |
| 8,5   | 8,6    | 6,4   | 6,7   | 6,3   | 8,7   | 9,1   | 9,2   | 6,7   | 5,4   | 5,6   | 5,6   |

EVOLUTION DES SOLS

---

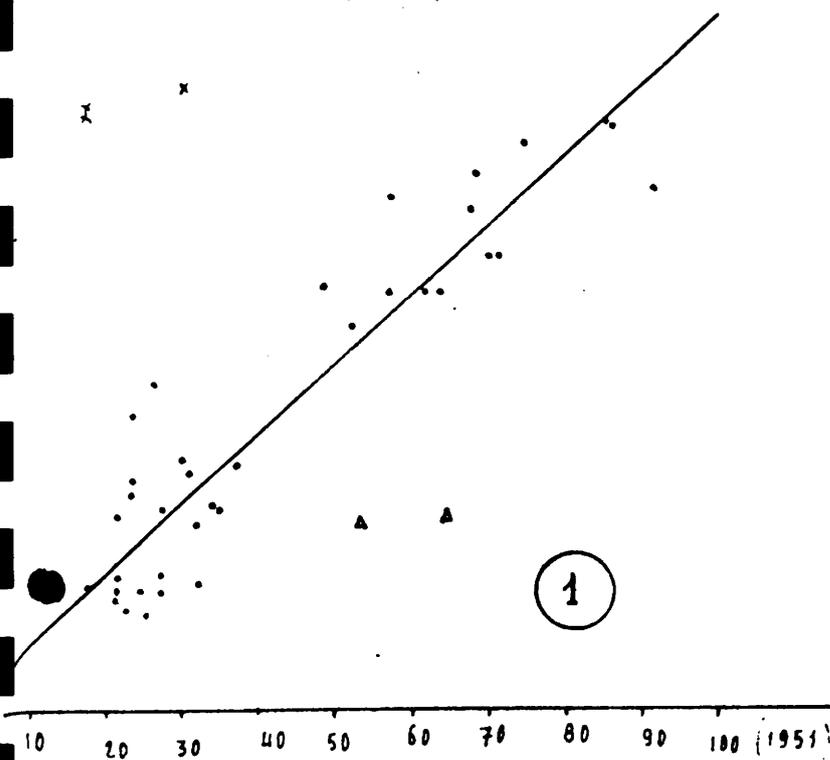
RESULTATS DES ANALYSES

1951 ET 1980

SABLES TOTAUX (%)

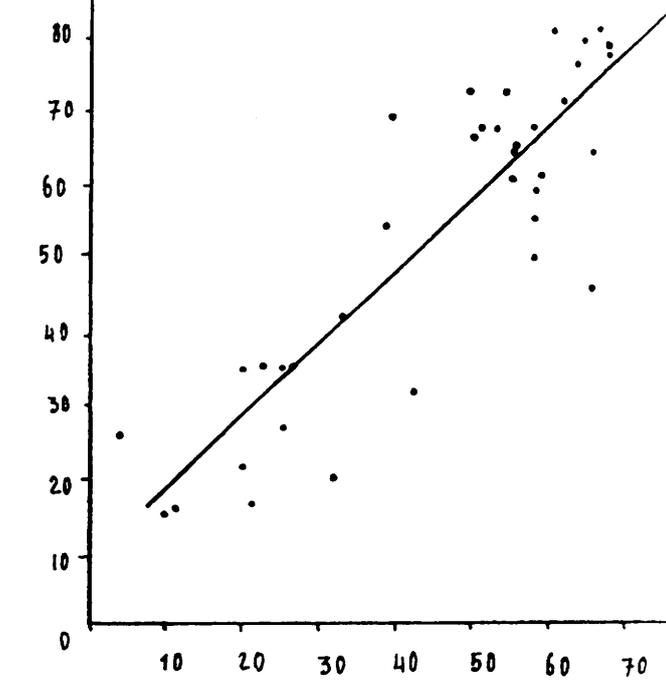
FO x  
l 8 Δ  
as profils.

$y = 0,91x + 1,18$   $r = 0,93$   
 moy. 1951 :  $41,7 \pm 22,2$   
 1980 :  $39,3 \pm 21,9$



ARGILES

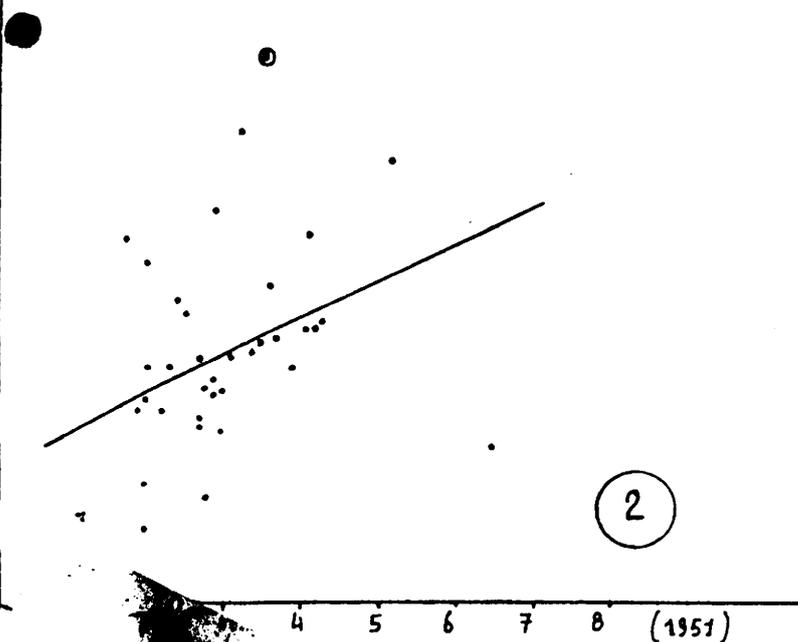
$y = 0,96x + 9,6$   $r = 0,88$   
 moy. 1951 :  $46,7 \pm 19,1$   
 1980 :  $52,4 \pm 20,9$



Ech SE 25-50 @ SABLE FINE/SABLE GROSSIER

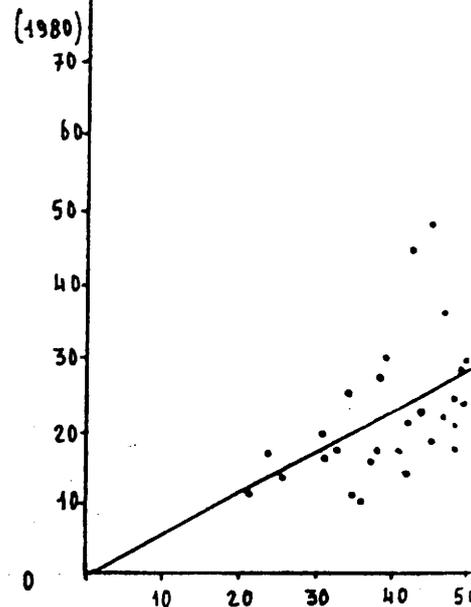
Autres ech.

$y = 0,51x + 1,81$   $r = 0,38$   
 moy. 1951 :  $2,9 \pm 1,1$   
 1980 :  $3,3 \pm 1,5$



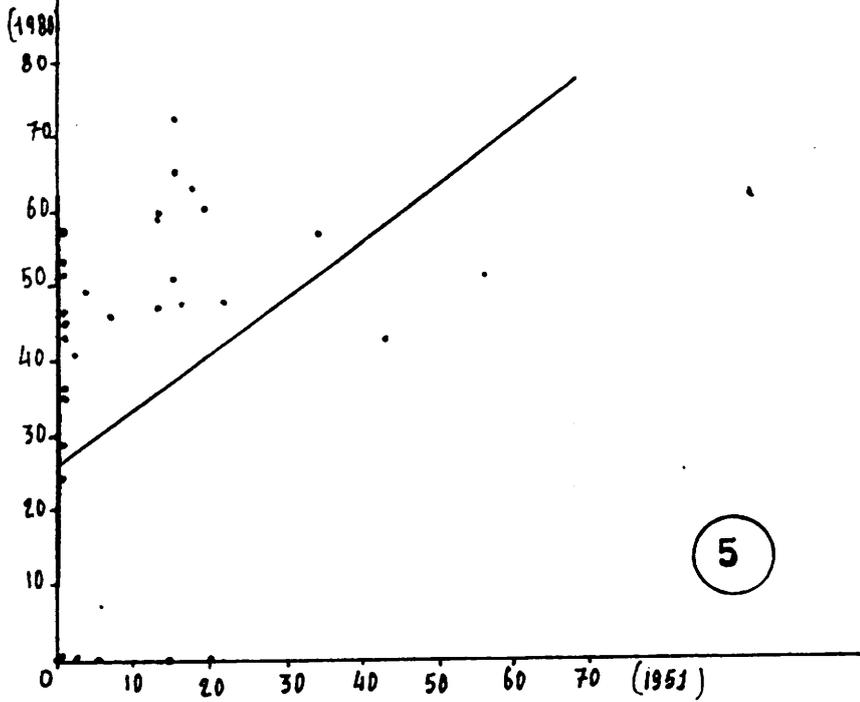
AGR

$y = 0,55x + 0,46$   $r = 0,6$   
 moy. 1951 :  $46,7 \pm 12,8$   
 1980 :  $26,1 \pm 11,6$

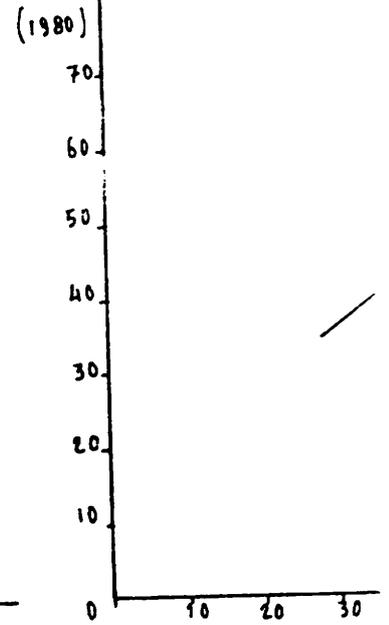


DISPERSION

$y = 0,76x + 25,8 \quad \lambda = 0,39$   
 moy. 1951:  $8,9 \pm 12,9$   
 1980:  $32,6 \pm 25,0$

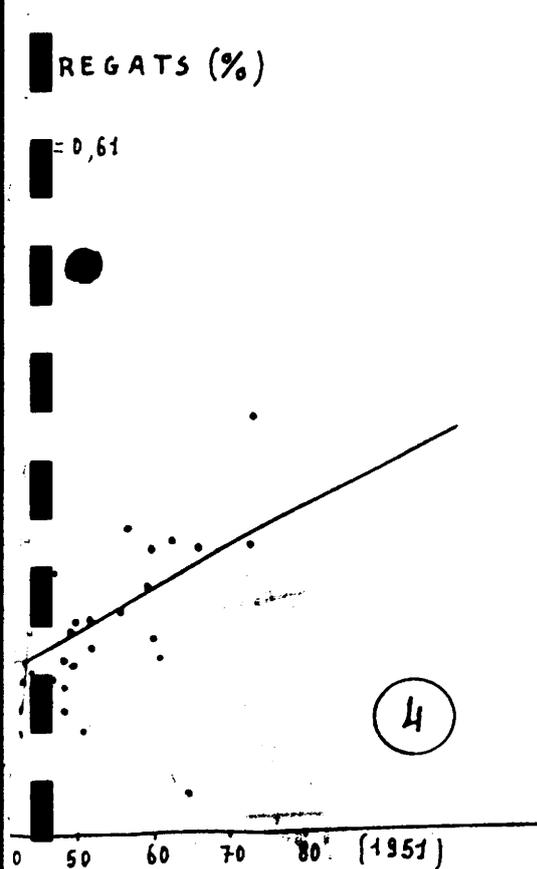


$y = 0,74x + 12,6$   
 moy. 1951:  $57,0 \pm 6$   
 1980:  $54,8 \pm 6$



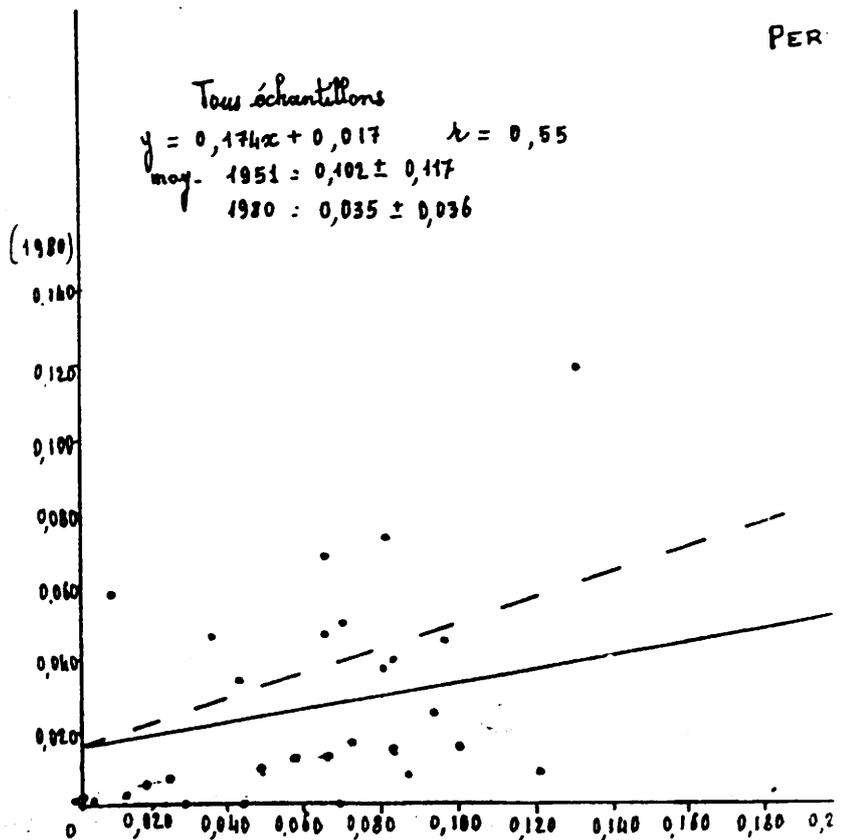
REGATS (%)

$\lambda = 0,61$



PER

Tous échantillons  
 $y = 0,174x + 0,017 \quad \lambda = 0,55$   
 moy. 1951:  $0,102 \pm 0,117$   
 1980:  $0,035 \pm 0,036$

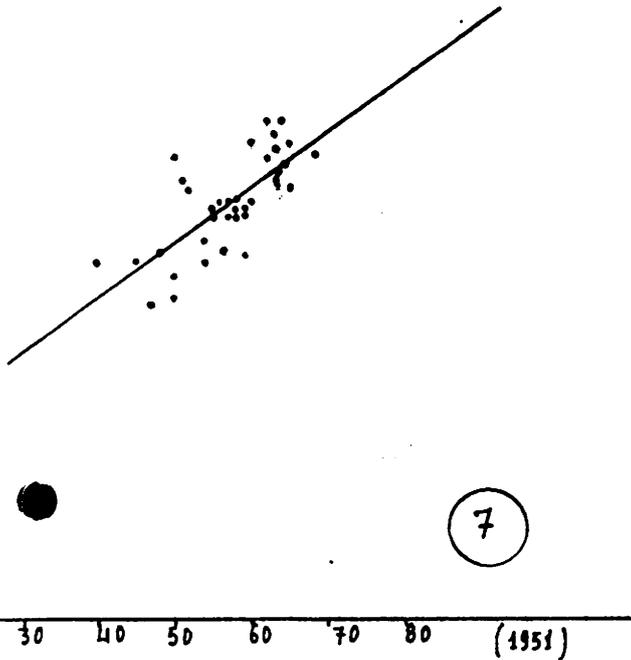


POROSITÉS SATURÉES %

$2,6 \quad r = 0,72$

$10 \pm 6,4$

$1,8 \pm 6,6$

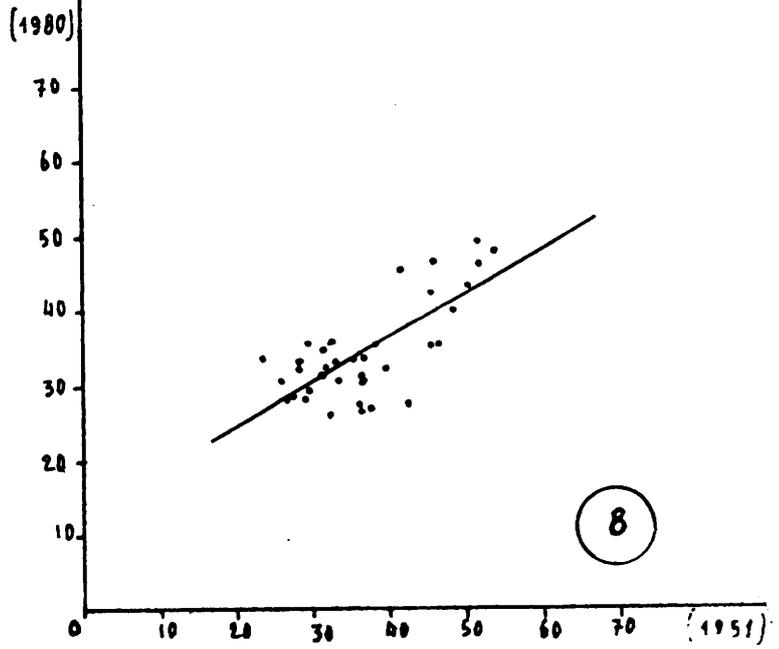


POROSITÉS MOTTES %

$y = 0,59x + 12,6 \quad r = 0,74$

moj. 1951:  $36,4 \pm 8,1$

1980:  $34,1 \pm 6,1$



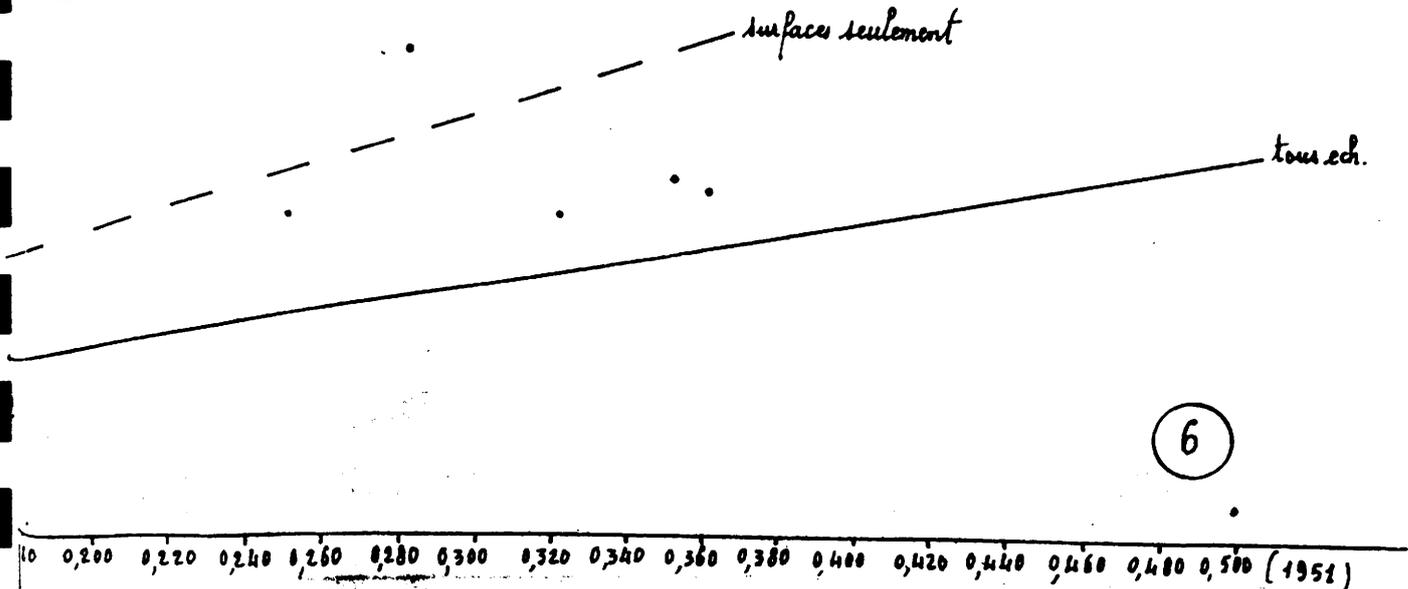
PERMEABILITES 1 HEURE cm/mn

Echantillons de surface seuls

$y = 0,326x + 0,018 \quad r = 0,57$

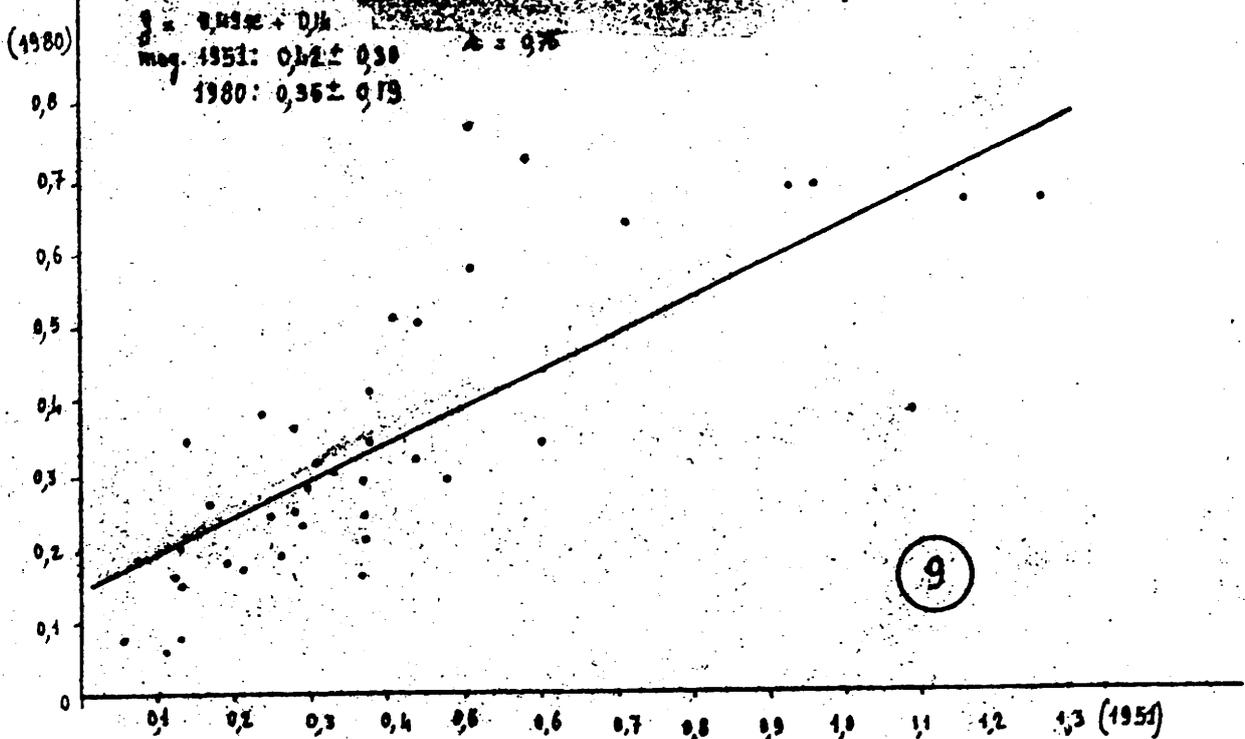
moj. 1951:  $0,070 \pm 0,060$

1980:  $0,041 \pm 0,034$

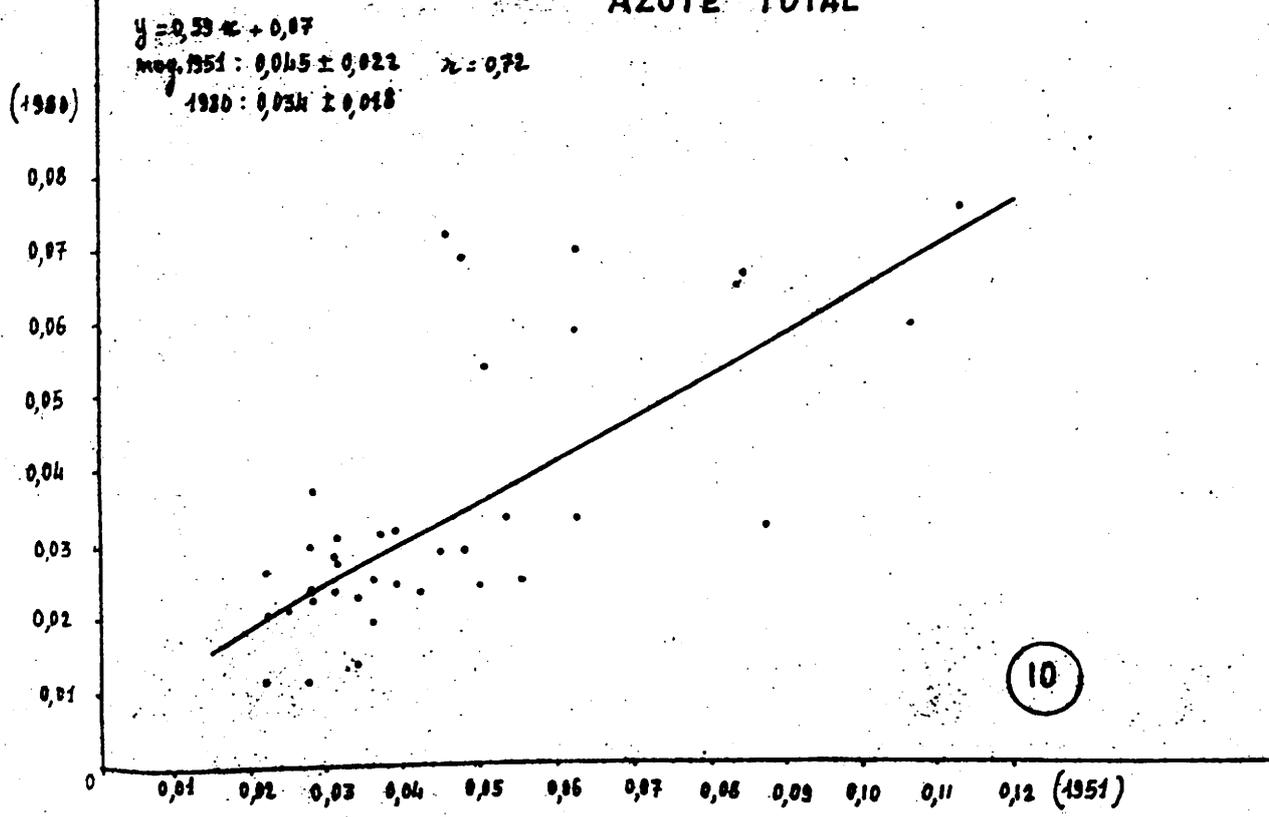


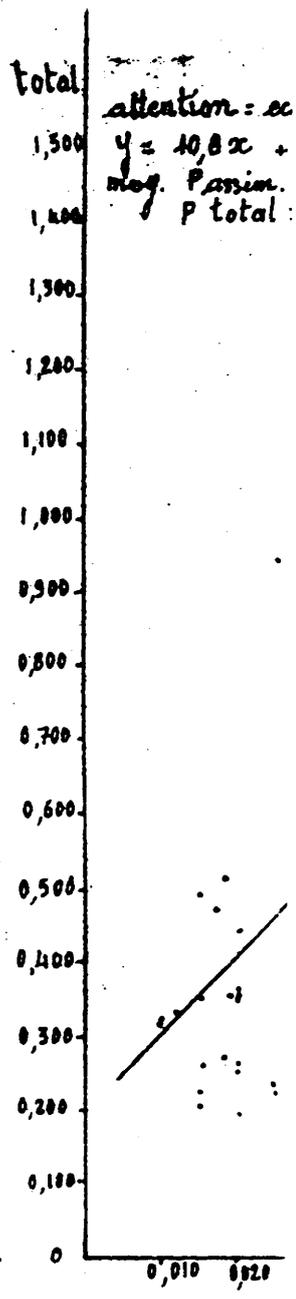
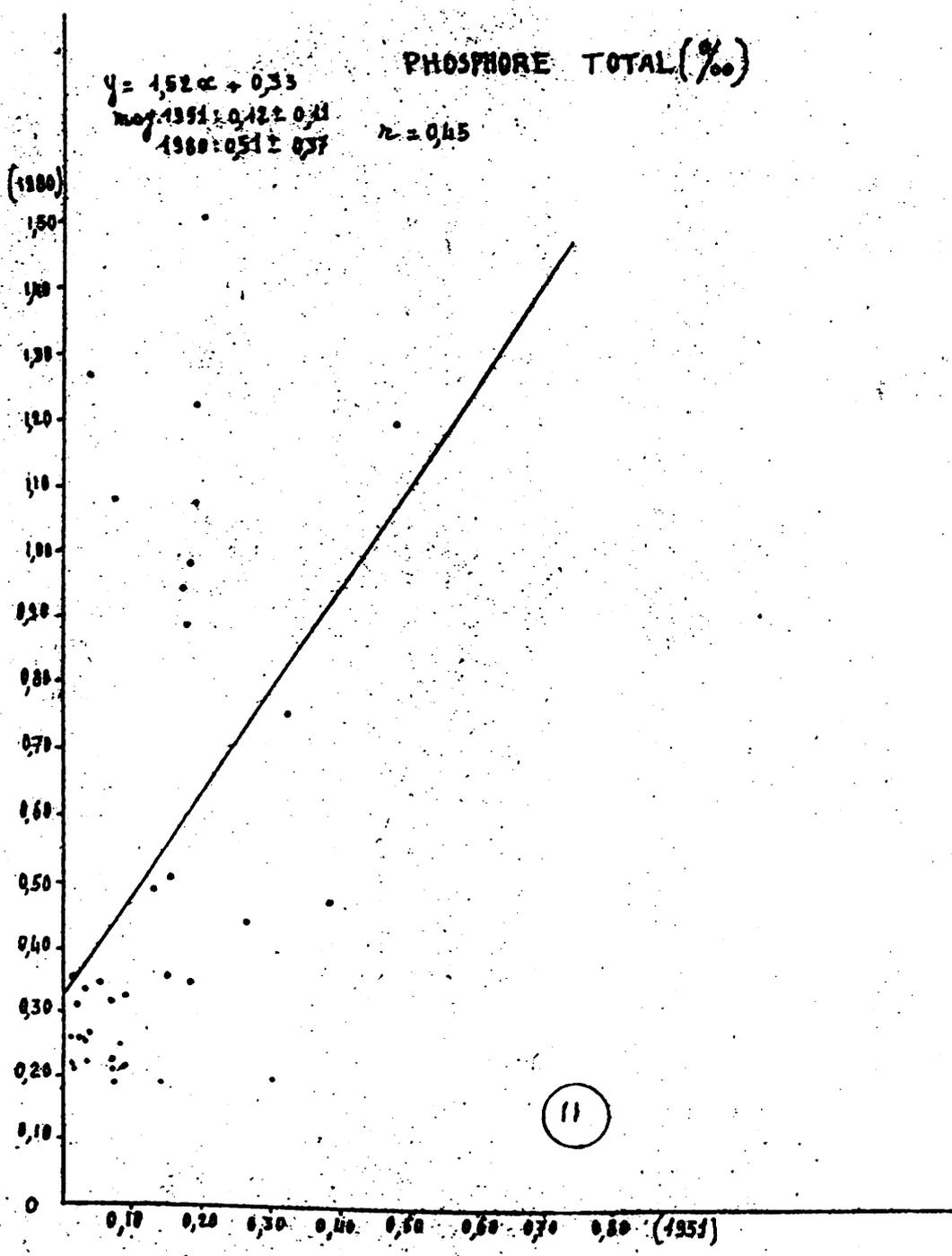
MESURES PHYSIQUES

# CARBONE ORGANIQUE

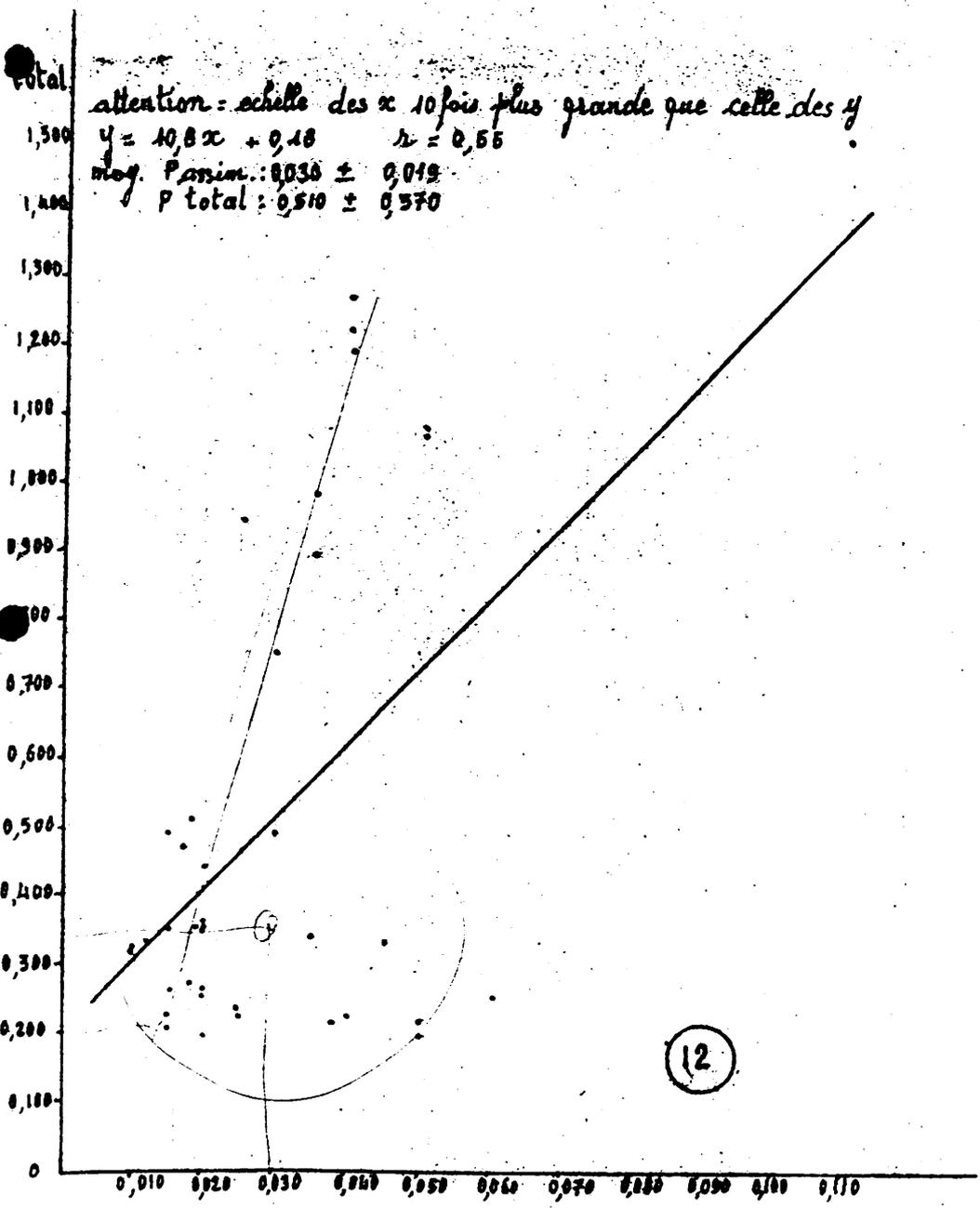


# AZOTE TOTAL

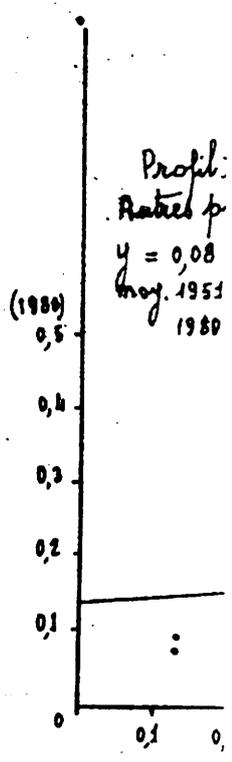
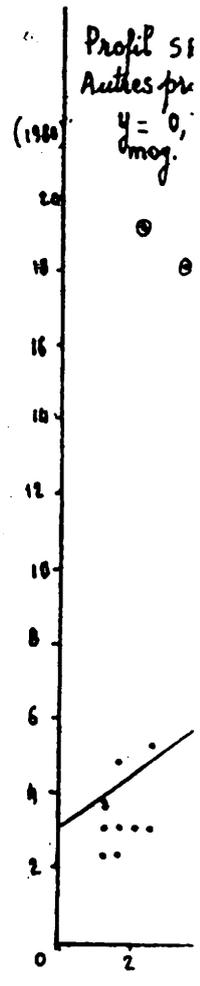




PHOSPHORES TOTAL ET ASSIMILABLE 1980 (%)

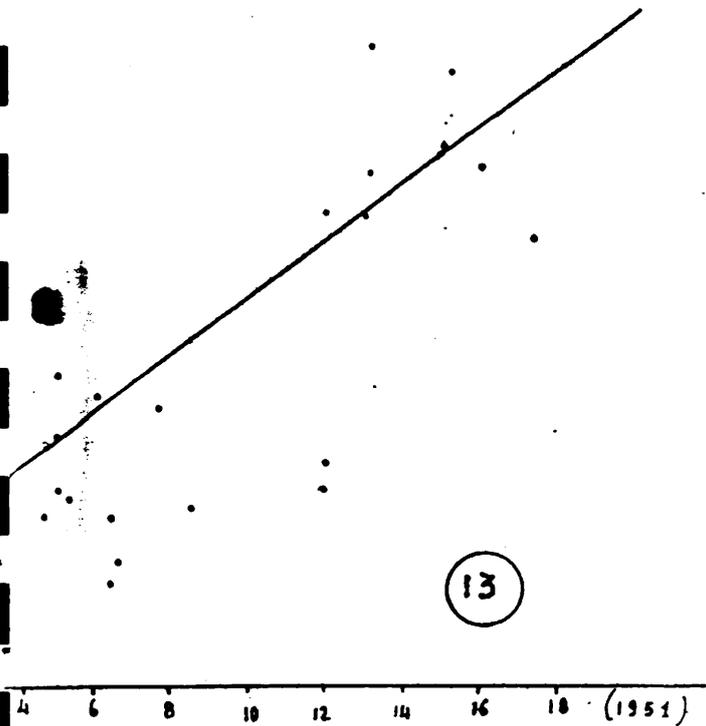


(12)



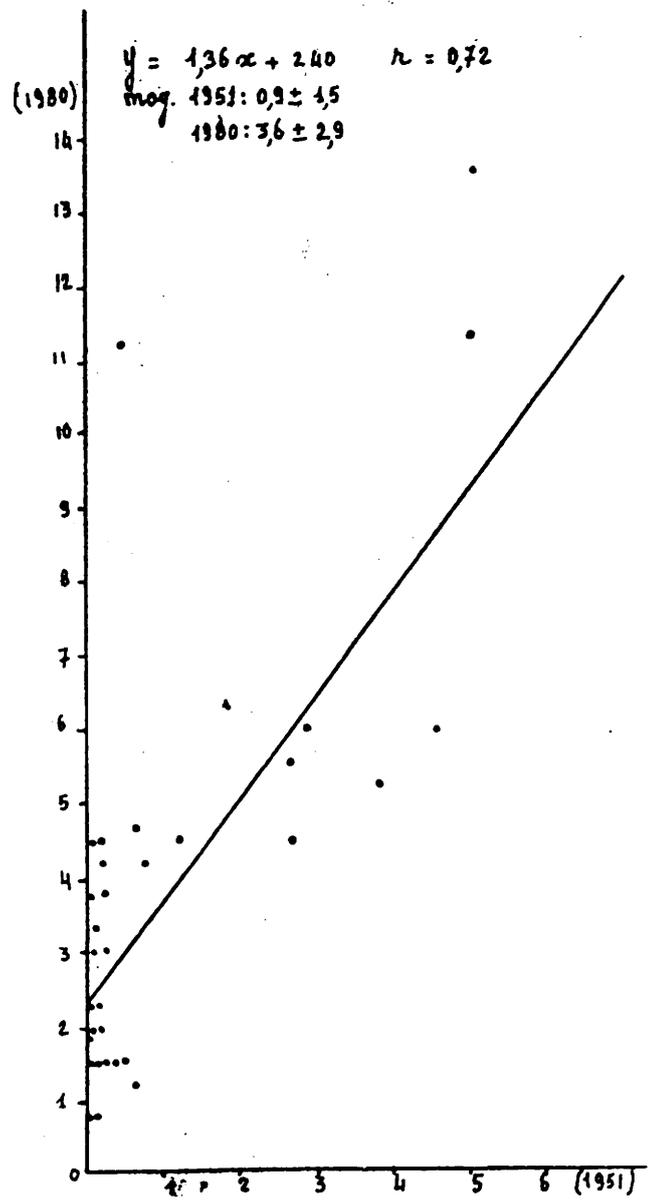
# Ca exchangeable (me/100g)

$5x + 3,08 \quad r = 0,68$   
 1951:  $7,5 \pm 5,4$   
 1980:  $8,7 \pm 6,0$



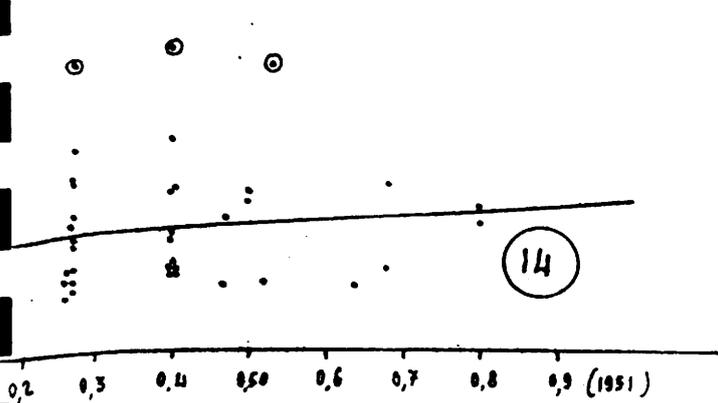
# Mg exchangeable (me)

$y = 1,36x + 2,40 \quad r = 0,72$   
 moy. 1951:  $0,9 \pm 1,5$   
 1980:  $3,6 \pm 2,9$



# K exchangeable (me/100g)

$+ 0,14 \quad r = 0,15$   
 1951:  $0,39 \pm 0,16$   
 1980:  $0,17 \pm 0,09$



# SODIUM échangeable (me/100g)

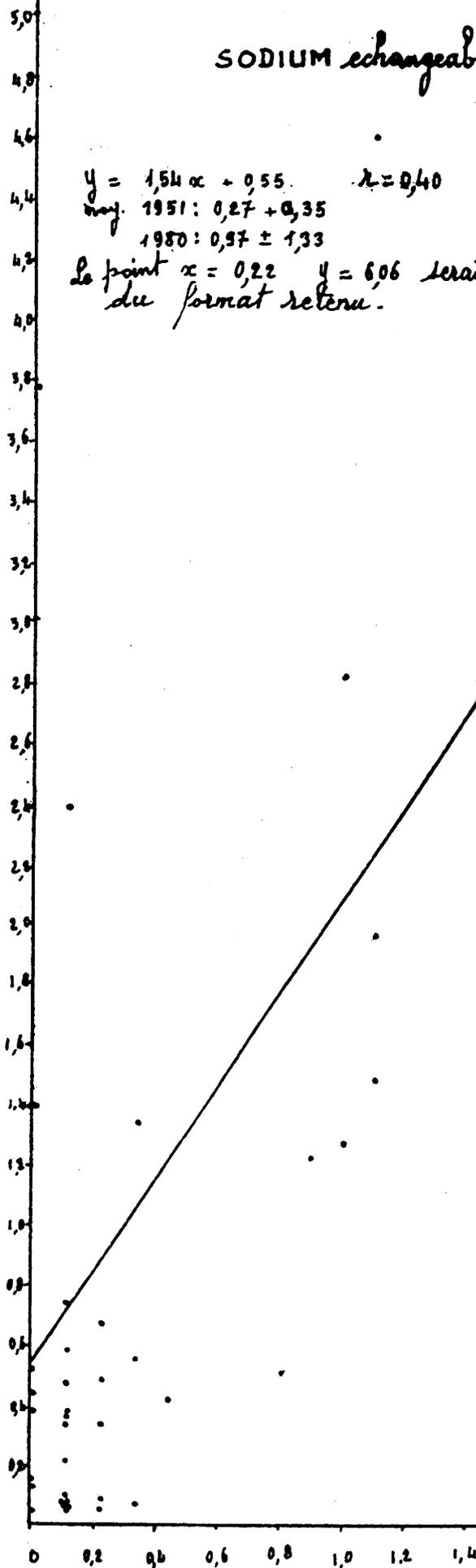
$$y = 1,54x + 0,55 \quad \lambda = 0,40$$

avg. 1951: 0,27 ± 0,35

1980: 0,97 ± 1,33

Le point  $x = 0,22$   $y = 6,06$  serait situé en dehors du format retenu.

me/100g



15

16