

*Perle*

INTERETS ET LIMITES DES ANALYSES PHYSICO-CHEMIQUES  
DES TERRES DANS L'ETABLISSEMENT DU DIAGNOSTIC DE LA FERTILISATION  
EXEMPLE DE LA FUMURE ANNUELLE A DOSE FAIBLE - PROPOSITION  
POUR UNE MEILLEURE EFFICACITE DE L'ANALYSE DE SOL DANS  
LES ETUDES D'EVOLUTION DU SOL SOUS CULTURE.

Par

J. F. POULAIN

Ingénieur Agronome

Etude et Amélioration du Milieu

C. R. A. BAMBEY

(République du Sénégal)

CONDITIONS PEDOCLIMATIQUES

Sols

Le sol sur lequel est installée l'expérimentation appartient à la classe des sols riches en sesquioxides et hydrates métalliques Groupe des sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés. Ces sols formés sur sables quaternaires sont caractérisés par une texture très sableuse impliquant une pauvreté en colloïdes minéraux et organiques et par des réserves minérales très réduites (phosphore en particulier). Ils sont très représentatifs de la zone Centre-Nord du Sénégal.

Pluviométrie

En 1962, 1963 et 1964 la pluviométrie a été déficitaire. Le déficit a été particulièrement important en 1964 avec une saison des pluies de deux mois.

	1962	1963	1964	Moyenne sur 35 ans
Total annuel	571,0	580,2	484,1	664 mm

O. R. S. I. O. M.  
Collection de Référence  
n° 13548

## RESULTATS AGRONOMIQUES OBTENUS AU COURS DE L'ESSAI DE 1962 à 1964

Rendements en kg/ha de gousses ou de grains

Traitements	Arachide 1 1962	Mil 1963	Arachide 2 1964
O	1487	509	1061
N	1565	650	962
P	1698	533	1077
K	1470	742	1052
NP	1819	517	1008
NK	1479	540	992
PK	1820	392	1227
NPK	1769	759	1152

Quantité de fertilisants alloués au sol pendant la succession cultures en kg d'éléments

Traitements	N				P205				K20			
	A1	M	A2	Total	A1	M	A2	Total	A1	M	A2	Total
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N	9	21	9	39	0	0	0	0	0	0	0	0
P	0	0	0	0	30	10,5	30	70,5	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	15	10,5	15	40,5
NP	9	21	9	39	30	10,5	30	70,5	0	0	0	0
NK	9	21	9	39	0	0	0	0	15	10,5	15	40,5
PK	0	0	0	0	30	10,5	30	70,5	15	10,5	15	40,5
NPK	9	21	9	39	30	10,5	30	70,5	15	10,5	15	40,5

### A. EVOLUTION DU SOL ET INFLUENCE DE LA FERTILISATION SUR LES TENEURS DES ELEMENTS MINERAUX ET ORGANIQUES

Deux prélèvements de sols ont eu lieu au cours des hivernages 60 et 65, chacun dans l'horizon 0-20 cm

Le premier prélèvement a été fait avant la jachère, le 18 et 19 Août 1960. La quantité d'eau tombée était de 370 mm. Les prélèvements ont été faits sur huit parcelles de 10 × 15 m à raison de 25 prises par parcelle. Deux parcelles se trouvaient situées sur chacun des quatre blocs de l'essai 2<sup>e</sup> implanté en 1961

Le prélèvement a été réalisé à la sonde tubulaire (modèle DUGAIN-IFAC)

Le deuxième prélèvement a eu lieu au terme de l'essai, sur la jachère suivant la deuxième arachide, le 24 Septembre 1965. La quantité d'eau tombée était de 610 mm.

Les deux prélèvements ont été effectués parcelle par parcelle (32 prélèvements) et dans les mêmes conditions (nombre, profondeur).

Il est donc possible de faire deux études :

- Evolution réelle de la teneur des éléments du sol après la succession culturale.
- Influence des éléments de la fumure sur les variations de teneurs des éléments du sol.

Le deuxième prélèvement étant réalisé parcelle par parcelle, il est possible d'interpréter factoriellement les résultats et d'obtenir l'effet des différents éléments de la fumure, seuls ou associés, sur la teneur des éléments du sol.

Seule la comparaison des deux prélèvements peut nous donner le sens général de l'évolution.

Résultats du premier prélèvement : Témoin sans fumure

Déterminations	Moyenne des 8 mesures	Coefficients de variation	Méthode utilisée
pH susp. 1/2,5	6,0	Cv = 3,1 %	Electrode de verre
C ‰	2,3	Cv = 17,6 %	Méthode WALKLEY-BLACK
N ‰	0,2	Cv = 13,2 %	KJELDAHL
C / N	11,4	-	-
Humus ‰	0,32	Cv = 29,3 %	Extraction au F3a
Humus soluble ‰	0,20	-	"
Humus précipitable	0,12	-	"
P205 total ‰	0,06	Très élevé. Valeur extrême : 0,03 à 0,12	Méthode LORENZ
P205 assimil. ppm	5	Très élevé. Valeur extr. traces à 23	Méthode TRUOC
K échangeable me/100g	0,06	Cv = 32,6 %	Extract. par percolation lente à l'acétate normal neutre (photométrie)

#### Résultat de l'interprétation factorielle

Afin de bien préciser les limites de la validité de l'étude, nous avons fait figurer pour chaque analyse la dimension de l'erreur.

En effet dans une analyse sur des rendements, nous avons la quasi certitude de la mesure effectuée (poids de grains, nombre d'épis).

A l'erreur expérimentale classique indépendante des traitements, se superposent dans une étude sur les éléments du sol, une erreur d'échantillonnage et une erreur d'analyse. L'estimation de la somme de ces deux erreurs peut être obtenue en effectuant l'analyse sur chacune des prises effectuées sur la même parcelle. L'erreur d'analyse est la somme d'une nouvelle erreur d'échantillonnage (au niveau du sac correspondant au prélèvement), et de l'erreur d'analyse proprement dite (due à la méthode et à l'opérateur). On peut obtenir l'erreur d'analyse stricte en effectuant le même dosage répété plusieurs fois sur un échantillon rigoureusement identique.

Les erreurs d'échantillonnage ont pu être considérablement réduites au champ par l'utilisation de la sonde tubulaire qui permet le prélèvement d'un nombre important de prises par parcelle, (20 à 25 pour une parcelle de 40 à 60 m<sup>2</sup>), et au laboratoire par l'utilisation de l'échantillonneur-diviseur. Le dosage répété plusieurs fois nous permet d'obtenir l'erreur absolue commise dans le cas où une seule mesure est réalisée sur chaque prélèvement (cas le plus fréquent).

La différence entre deux mesures sera considérée valable si elle est au moins supérieure à l'erreur d'analyse.

Les résultats ci-après sont la moyenne des quatre parcelles ayant subi le même traitement.

pH suspension 1/2,5 Erreur d analyse sur une seule mesure : 0,2 unité pH Cv % = 2,0

(Electrode en verre)

Ténoin	5,7
N	5,3
P	5,6
NP	5,3
K	5,7
NK	5,3
PK	5,4
NPK	5,5

EFFET DE		
N	P	K
Seule - 0,5 +++	Seul - 0,1	Seul 0,0
+ P - 0,4 +++	+ N 0,0	+ N 0,0
+ K - 0,4 +++	+ K - 0,3 ++	+ P - 0,2 +
+ PK + 0,1	+ NK + 0,2 +	+ NP + 0,2 +
es = 0,1	DS 0,05 = 0,2 DS 0,01 = 0,3	DS 0,001 = 0,4

- L'effet de N est négatif et très hautement significatif
- L'interaction NP et NK est positive et significative.

Après trois ans de culture sans engrais, le pH a baissé de 0,3 unité. L'effet de la fumure azotée (sulfate d'NH<sub>4</sub>) est indiscutable et fait baisser le pH de 0,5 unités quand elle est employée seule. La baisse de pH est plus faible si on adjoint à la fumure azotée, la fumure phosphopotassique (bicalcique + chlorure).

Sur l'ensemble des autres déterminations, les différences observées entre traitements et entre les deux prélèvements successifs sont dans la majorité des cas. inférieures à l'erreur d'analyse ; on ne peut observer que des tendances

Carbone total ‰ - Azote total ‰    C / N  
(WALKLEY-BLACK)    (KJELDAHL)

Carbone total  
Azote total  
C/N

Erreur d'analyse sur une seule mesure	Coefficient de variation %
0,9 ‰	22,4 %
0,09 ‰	18,9 %
3,6	38 %

	C ‰	N ‰	C / N
Ténoin	2,50	0,23	11,0
N	2,40	0,24	9,9
P	2,52	0,23	11,3
NP	2,30	0,23	10,1
K	2,54	0,23	11,8
NK	2,38	0,27	8,8
PK	2,31	0,22	10,2
NPK	2,55	0,23	10,9

Humus  
(extraction au FNa)

		Erreur d'analyse sur une seule mesure	Coefficient de variation % :
	Humus total	0,13 ‰	11,2 %
	Humus soluble	0,10 ‰	16,4 %
	Humus précipitable	0,03 ‰	22,3 %
	Humus total ‰	Humus soluble ‰	Humus précipitable ‰
Témoins	0,49	0,38	0,11
N	0,52	0,41	0,11
P	0,38	0,31	0,07
K	0,45	0,35	0,11
NP	0,47	0,37	0,10
NK	0,47	0,38	0,09
PK	0,43	0,33	0,10
NPK	0,44	0,35	0,09

Phosphore

		Erreur d'analyse sur une seule mesure.	Coefficient de variation %
	Phosphore total	0,03 ‰	18,8
	Phosph. assimilable	3 ppm	15,9
	Phosphore total ‰ (LORENZ)	Phosphore assimilable ppm (TRUOG)	
O	0,06	5	
N	0,06	5	
P	0,08	12	
K	0,05	5	
NP	0,05	10	
NK	0,07	8	
PK	0,07	9	
NPK	0,06	6	

La variation des teneurs entre les traitements peut s'expliquer par l'importance relative des exportations et des apports d'engrais en fonction des différents traitements. Pour le P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable, on n'observe aucune différence entre les traitements différentiels (DS 0,05 = 8 ppm)

Potassium échangeable (meq/100 g)

Extraction par agitation à l'acétate neutre

Erreur d'analyse sur une seule mesure : 0,01 Cv = 7,6 %

Témoin		Effet de l'azote	Effet du phosphore	Effet de la potasse
N	0,07			
P	0,07			
NP	0,07	Seule 0,00	Seul 0,00	Seule + 0,01
K	0,08	+ P - K 0,00	+ N-K 0,00	+ N-P + 0,01
NK	0,08	+ K - P 0,00	+ K-N + 0,02	+ P-N + 0,03 +
PK	0,10	+ P + K-0,03 +	+ N+K - 0,01	+ N+P 0,00
NPK	0,07			
		es = ± 0,01	DS 0,05 = 0,03	

Les deux méthodes utilisées étant légèrement différentes, (percolation et agitation) il nous est impossible de faire des comparaisons valables sur l'évolution de la teneur en K échangeable. Les différences observées sont d'ailleurs de l'ordre de grandeur de l'erreur d'analyse. Les effets enregistrés, comme ceux du phosphore, peuvent s'expliquer par l'importance relative des exportations en fonction des différents traitements. En présence d'une fumure phospho-potassique la fumure azotée fait baisser les teneurs en potasse échangeable (augmentation des exportations due à l'accroissement de la production de matière sèche totale).

## B. TENTATIVE DE BILAN DES APPORTS ET DES EXPORTATIONS MINÉRALES CONSIDÉRATION SUR LA VALEUR DE CE BILAN

### a/ Bilan brut calculé à partir des exportations

Les cultures prélèvent à la fois des éléments fertilisants apportés par les fumures et des éléments contenus dans les réserves du sol sans qu'il soit possible, tout au moins pour certains éléments, de distinguer la proportion exacte de ces deux prélèvements

Si les fumures sont quantitativement inférieures aux exportations, elles-mêmes en général inférieures aux mobilisations minérales totales, on peut affirmer que la plante prélève dans les réserves minérales du sol.

Tous les calculs de rentabilité des fumures ne donnent un profil réel que si le bilan brut fumures-exportations est largement positif. En l'absence de la connaissance exacte des mobilisations minérales pour chacune des parcelles de l'essai, nous avons établi un bilan pour les éléments P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO et S en prenant comme base de calcul les chiffres moyens obtenus dans d'autres expérimentations pour des quantités de matière sèche totale du même ordre de grandeur. Les chiffres sont approximatifs car en réalité ils dépendent des traitements, même aux faibles niveaux de fumures utilisées

Les exportations réelles correspondent très sensiblement aux mobilisations minérales, les feuilles et tiges d'arachide et de mil étant utilisées dans la majorité des cas (consommation du bétail en particulier). Les chiffres d'exportation que nous avons utilisés sont ceux déterminés par l'IRHO pour l'arachide et par l'IRAT pour le mil

Mobilisations minérales pour 100 kg de gousses ou de grains

	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	S
Arachide	0,8	1,6	1,0	0,5
Mil	1,8	2,1	2,5	0,5

Le bilan brut s'établit ainsi en fonction des traitements pour les trois années (kg/ha)

	P205			K20			CaO			S		
	Ap-port	Ex-port	Bilan	Ap-port	Ex-port	Bilan	Ap-port	Ex-port	Bilan	Ap-port	Ex-port	Bilan
O	0	-31	-31	0	-53	-53	0	-40	-40	0	-16	-16
N	0	-32	-32	0	-54	-54	0	-42	-42	45	-15	+29
P	70	-32	+38	0	-56	-56	56	-41	+15	0	-17	-17
K	0	-29	-29	40	-50	-10	0	-37	-37	0	-15	-15
NP	70	-32	+38	0	-56	-56	56	-41	+15	45	-17	+28
NK	0	-29	-29	40	-51	-11	0	-38	-38	45	-15	+30
PK	70	-31	+39	40	-57	-17	56	-40	+16	0	-17	-17
NPK	70	-37	+33	40	-53	-23	56	-48	+8	45	-18	+27

Sulfate NH<sub>4</sub>      20 % N      23 % S  
 Phosphate bicalcique 40 % P205    32 % CaO  
 Chlorure de K20      60 % K20

Le bilan brut ainsi établi et limité aux seules exportations des récoltes donne seulement une idée des pertes minimum ou des gains maximum. En effet, selon l'élément, d'autres sources de pertes devraient entrer en ligne de compte pour l'établissement d'un bilan réel ; la plus importante est le lessivage des éléments sous l'action de la pluie

Les études réalisées en bacs et cases lysimétriques par VIDAL et CHARREAU ont permis de chiffrer l'importance du lessivage des principaux éléments de la fumure. Toutefois les résultats sont très différents selon la couverture du sol, la nature de la culture, la pluviométrie de la période considérée et l'importance de la fertilisation

VIDAL a fait des mesures en bacs lysimétriques ; les quantités lessivées sont les suivantes :  
 pour une seule rotation Arachide - Mil - Arachide.

P205 : traces  
 K20 : 40 kg  
 CaO : 200 kg  
 S : 70 kg

En adoptant ces chiffres, le bilan brut est réel pour le phosphore. Par contre, il devient nettement déficitaire pour les autres éléments.

#### b/ Bilan brut calculé à partir des analyses de sol

Etant donné les difficultés qui résident dans l'établissement du bilan réel pour chacun des éléments, il est logique de se tourner vers les analyses du sol qui réalisées périodiquement, peuvent permettre de savoir si la fertilisation prodiguée au sol correspond à une bonne gestion des éléments minéraux.

Toutefois, l'étude du paragraphe A nous montre les limites de l'analyse de sol. Si nous mettons en regard les réserves calculées à partir des analyses effectuées en surface et le long des profils, et les erreurs analytiques, on obtient pour le phosphore et la potasse échangeable les résultats suivants :

	Horizon 0-20	Horizon 0-200	Limite erreur d'analyse	
P205 tol.	180 kg/ha	3,3 t/ha	0,03 %	soit 90 kg/ha
P205 as.	15 kg/ha	260 kg/ha	3 ppm	soit 9 kg/ha
K éch.	85 kg/ha	1,2 t/ha	0,01 méq/100 g	soit 15 kg/ha

Les erreurs commises sur les teneurs en P<sub>205</sub> représentent une quantité équivalente à la moitié des réserves de l'horizon 0-20. Pour le phosphore total, l'erreur est largement supérieure aux différences obtenues avec le bilan brut. Les erreurs sont plus faibles avec les éléments assimilables, mais les interprétations beaucoup plus délicates. En effet la connaissance des mécanismes réels de l'assimilabilité par les plantes des diverses formes chimiques sous lesquelles se présentent les éléments minéraux est encore incomplète. D'autre part, la mesure de l'assimilabilité, notion biologique et dynamique, par une méthode chimique et statistique ne peut donner entière satisfaction. Une autre source de difficultés réside dans la définition exacte de la quantité d'éléments nutritifs à la disposition de la plante. Les racines explorent un volume de sol plus ou moins grand, variable pour une même plante en fonction des conditions physiques du milieu et des techniques culturales. Il est donc impossible d'établir un bilan exact des réserves à partir de la seule analyse de sol réalisée sur l'horizon 0-20 cm. Il faudrait prélever également les horizons inférieurs. Toutefois, pour les cultures annuelles considérées (arachide, mil), l'observation du profil cultural et du système racinaire montre que la majorité des racines se trouve concentrées dans l'horizon 0-20 cm. On peut raisonnablement admettre que l'influence des techniques culturales (fertilisation en particulier) et les variations relatives des éléments minéraux et organiques sont les plus importantes dans l'horizon où la densité racinaire est la plus élevée. (Nous n'envisageons pas ici le cas de l'azote qui constitue l'objet d'une étude particulière au Sénégal du fait de la complexité de sa dynamique).

Une erreur importante peut également être commise dans la constitution de l'échantillon. Malgré un très grand nombre de prises, la faible diffusion de l'engrais et sa répartition hétérogène en surface (phosphate) ou au contraire sa localisation à la suite d'un labour au fond ou entre les bandes du labour, peut enlever toute valeur représentative à l'échantillon. L'observation du profil cultural peut être précieuse dans ce dernier cas pour définir le mode de prélèvement le plus valable.

Le diagnostic de la fertilisation donné par l'établissement du bilan et des analyses de sol nous permet de porter le jugement suivant sur la fumure annuelle appliquée dans l'expérimentation. Celui-ci est seulement valable pour les niveaux de rendements atteints dans les conditions pédoclimatiques que nous avons définies.

- le bilan brut à partir des exportations nous indique

un bilan légèrement positif pour le phosphore  
un bilan nettement déficitaire pour la potasse, le calcium et le soufre.

- les analyses de sol sont insuffisamment précises pour déceler une baisse ou un accroissement de la teneur des éléments minéraux du sol

La baisse de pH enregistrée après quatre ans de mise en culture (pH de départ : 6,0) est incontestable (précision de la mesure, degré de signification de l'analyse). La baisse est de 0,3 unités sans apport d'engrais, 0,5 unités avec fumure complète, 0,7 unités en présence de la fumure azotée seule (sulfate).

Une baisse de pH correspond en général à une diminution de la fertilité. Le résultat est parfaitement en accord avec les modifications possibles de l'acidité totale du sol (exportations et lessivage en CaO).

### C. LES LEÇONS POUR LES ÉTUDES FUTURES D'ÉVOLUTION DU SOL À PARTIR D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

L'étude de l'évolution du sol sous culture, telle que nous l'avons réalisée est sujette à certaines critiques ; les sources d'erreurs proviennent d'une part du prélèvement, d'autre part des analyses.

Avant d'aborder successivement ces deux points, il est bon de souligner l'intérêt d'un dispositif statistique précis (cf étude réalisée par S. BOUYER au SEMA de Boulel) qui permet d'éliminer les erreurs positionnelles et de conclure avec plus de sûreté.

a/ **Le problème du prélèvement** comporte plusieurs aspects : la fréquence, la date, la profondeur, la localisation, l'échantillonnage.

La fréquence

Les teneurs des éléments minéraux et organiques du sol sont très faibles (caractère commun à tous les



sols de la même classe dans la zone sahélo-soudanienne). Les apports d'engrais dont on veut tester les effets sur le sol sont minimes. Dans ces conditions, il est nécessaire que la durée entre les deux prélèvements soit suffisamment longue. Nous avons adopté la durée d'une rotation. Il serait peut être nécessaire de doubler cette période. Il est souhaitable, avec des dispositifs en série, d'effectuer un prélèvement chaque année sur une même phase de la rotation. Si chaque prélèvement a lieu toutes les n années sur une rotation de n phases, la comparaison s'effectue alors sur les n couples de valeurs. On peut alors éliminer l'effet des périodes, qui est souvent important car une succession de quatre ans n'est pas toujours représentative du point de vue climatique (exportations et lessivage peuvent en particulier varier dans de larges limites).

#### La date

Il est essentiel d'effectuer les prélèvements à la même époque de l'année. La différence est très importante entre les deux prélèvements effectués : le premier a eu lieu après 370 mm, le deuxième après 610 mm de pluie. Ces différences peuvent avoir une influence sur certaines caractéristiques. Le pH en particulier subit des variations saisonnières importantes. Toutefois, une étude systématique a montré que pendant la saison des pluies les variations sont nettement inférieures à celles mises en évidence entre les deux prélèvements. Pour se mettre à l'abri de telles erreurs, il est donc essentiel d'effectuer les deux prélèvements qui seront comparés, à la même époque dans l'année. On adoptera par exemple le début de la saison sèche, ou le début de la saison des pluies après une même chute de pluie (30 à 60 cm). Cette dernière date permet l'emploi en sols sableux de la sonde tubulaire et de laisser un laps de temps suffisant après l'épandage de l'engrais. On peut également adopter la période précédant la récolte peu de temps après les dernières chutes de pluies. En fait l'interprétation désirée à partir de l'analyse doit guider le choix de la date de prélèvement. L'importance des phénomènes biologiques peut entraîner de grandes variations dans les éléments selon l'époque. L'azote fera toujours l'objet d'une étude particulière.

#### La profondeur

Nous avons déjà évoqué ce problème à propos de la zone d'exploitation racinaire du mil et de l'arachide et justifié le choix de l'horizon 0-20 cm. L'observation du profil cultural est indispensable pour déterminer la ou les profondeurs de prélèvements les plus appropriées. La réalisation de profil hydrique permet également d'avoir une idée de l'importance de la zone soumise à l'action des racines (profil en voie de dessiccation en particulier). Pour les cultures qui nous intéressent (annuelles) le prélèvement dans la zone 0-20 cm semble le plus justifié. Les fluctuations dans le temps y sont les plus importantes. Dans le cas de parcelles travaillées, il est logique d'adopter une profondeur correspondant à celle du labour.

#### L'échantillonnage

L'hétérogénéité du sol même en parcelle expérimentale est très grande. Pour la réduire il est indispensable d'effectuer un grand nombre de prises. Mais pour ne pas perturber le sol de la parcelle, la prise doit être de faible volume. C'est pour cette raison que nous avons adopté la sonde tube (modèle DUGAIN-IFAC) qui permet de réaliser 20 à 25 prises par parcelle de 40 à 50 m<sup>2</sup>.

Pour suivre l'évolution d'une parcelle dans le temps, seule la méthode ponctuelle est utilisable, (maximum de surface 100 m<sup>2</sup>). Pour les parcelles d'évolution du sol de plus grande superficie (1/3 Ha), nous utilisons également la méthode ponctuelle. Elle a l'inconvénient d'être moins représentative de l'ensemble du champ que la méthode globale, mais l'avantage de comparer des échantillons identiques au départ de l'étude. Pour des parcelles de 1/3 Ha nous avons adopté la technique suivante qui nous semble concilier les avantages des deux méthodes. Les prélèvements ont toujours lieu sur les diagonales des parcelles. On effectue par exemple 10 prises ponctuelles sur chacune des diagonales ; selon la longueur on choisit une distance constante entre les prises. On tire au sort 5 prises sur chaque diagonale sur laquelle on effectuera quelques analyses simples (essentiellement pH, argile + limon, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable). Ces déterminations permettront d'avoir une idée de l'erreur d'échantillonnage à l'échelon de la parcelle. On mélange ensuite l'ensemble des prises pour constituer à l'échantillonneur diviseur un échantillon unique. Sur cet échantillon, on effectuera les déterminations désirées ; qui pourront le cas échéant être mises en corrélation avec les rendements de la parcelle.

Le profil cultural peut également apporter de précieux renseignements sur la répartition des engrais à la suite de travaux (labour, pseudo labour, etc.). Le problème de l'échantillonnage est beaucoup plus complexe lorsque l'engrais a été localisé (Side dressing).

Si nous avons insisté sur ce problème du prélèvement, c'est que sa réalisation conditionne, à notre avis, toute étude sérieuse d'évolution du sol sous culture. Trop souvent, on reçoit dans les laboratoires des échantillons dont on ignore les caractéristiques du prélèvement. L'analyse effectuée sur un tel échantillon est à notre avis sans valeur. Le prélèvement doit être effectué en présence du spécialiste qui effectuera l'interprétation des résultats. Ce sera pour lui l'occasion de réunir les éléments de diagnostic visuel si souvent négligé (profil culturel en particulier).

**b/ Les analyses au laboratoire**

En dehors de la mesure du pH qui constitue une valeur sûre, les résultats des analyses de sol sont assez décevants. Ils expliquent dans une certaine mesure, le scepticisme de certains quant à leur intérêt. Des progrès importants peuvent être obtenus dans le domaine de l'analyse proprement dite. Un laboratoire dont l'objectif est avant tout l'étude des problèmes d'évolution du sol sous culture doit être conduit d'une manière toute différente d'un laboratoire dont l'essentiel des résultats est destiné à des buts de cartographie. Nous ne ferons pas état ici de la méthodologie des analyses, mais nous évoquerons seulement certains points qui nous semblent devoir apporter des améliorations aux résultats analytiques dans les études à venir :

- Préparation et échantillonnage de la prise pour analyse très soignés
- Estimation précise des erreurs d'échantillonnage et d'analyse

La somme de ces deux erreurs peut être obtenue par la répétition de l'analyse sur les prises dans l'échantillon. L'erreur d'analyse proprement dite est obtenue par l'analyse de 10 prises rigoureusement identiques. Pour réduire au minimum l'erreur d'échantillonnage on peut utiliser un petit échantillonneur-diviseur. On peut également étendre la terre en une couche d'un centimètre d'épaisseur dans un plateau en évitant un triage des particules et prélever l'échantillon en plusieurs prises réparties sur le plateau.

- Broyage très fin pour l'analyse des éléments totaux (tamis 100) et par contre, éviter le broyage pour les analyses de structure.

- Limitation des analyses à quelques déterminations essentielles. Parmi celle-ci nous citerons la conductivité équivalente, l'argile + limon, les pH, le carbone libre et lié, le phosphore total et assimilable, les cations échangeables (K-Ca en particulier), l'instabilité structurale.

D'autres analyses peuvent être réalisées, mais il y a lieu de se limiter en fonction essentiellement du but de l'étude.

- Réalisation de toutes les analyses en double exemplaire

Cela est indispensable pour les éléments dont l'erreur absolue sur une seule mesure est très grande. En sol dior on obtient ainsi les erreurs absolues suivantes :

	1e Mesure	2e Mesure (analyse double)
pH	0,23	0,16
P205 total	0,032	0,023
P205 assim.	7 ppm	5 ppm
C %	0,9	0,5
K éch. méq/100 g	0,01	0,006

- Méthode d'analyse rigoureusement identique dans le temps pour pouvoir effectuer une comparaison valable. Aussi dans l'étude réalisée, la méthode d'analyse du K échangeable a changé (méthode par percolation lente, puis méthode par agitation). Même si la correspondance entre les deux méthodes est connue, la correction ne donne pas entière satisfaction. Pour le P205 assimilable, nous avons adopté la méthode TRUOG, qui nous a donné les meilleures corrélations avec l'efficacité des engrais phosphorés.

Pour la comparaison des échantillons prélevés et analysés à deux dates différentes, il est intéressant de conserver quelques échantillons analysés à la suite du premier prélèvement et de les mettre dans le circuit

des analyses correspondant au deuxième prélèvement. Cette vérification permet de comparer les techniques d'analyses (il se peut que l'analyse ait changé entre les deux analyses). Cette méthode est seulement utilisable pour les éléments ne subissant pas de variation notable à la suite du stockage.

## CONCLUSIONS

Le bilan minéral établi à partir des seules exportations est le plus souvent excédentaire, car il néglige les pertes par lessivage dont on connaît l'importance pour les éléments échangeables (K - Ca - Mg).

L'analyse de sol manque actuellement de précision pour déceler les variations dans le teneur des éléments minéraux pendant de courtes périodes

Après trois ans de culture nous avons pu mettre en évidence une baisse de pH significative en isolant le rôle prépondérant de la fumure azotée à base de Sulfate d'ammoniaque.

Pour les éléments minéraux et organiques, les différences observées sont de l'ordre de grandeur de l'erreur d'analyse, et il est impossible de se prononcer avec certitude, ni de conclure à un maintien de la fertilité

Toutefois les deux techniques : analyse de la plante antière, analyses de sol concourent à l'établissement du diagnostic général de la fertilisation.

Si pour un élément donné du sol, le bilan apport - exportation est déficitaire ou si l'analyse révèle une baisse significative de sa teneur, on peut affirmer que les réserves de l'élément dans le sol diminuent.

Ainsi en présence de la fumure faible vulgarisée, le bilan réel établi à partir des exportations est légèrement positif pour le phosphore, et nettement déficitaire pour la potasse, le calcium et le soufre.

La baisse de pH décelée par les analyses de sol entraîne une baisse de la fertilité. Il est admis que pour les sols Dior, les conditions les meilleures sont comprises entre pH 6 et 6,5, si on prend la précaution de fournir l'ensemble des éléments minéraux.

On constate assez fréquemment l'absence totale de liaison entre le diagnostic fourni par le bilan apport-exportation de la plante et les analyses de sol d'une part, et l'efficacité de la fumure d'autre part. Ce fait est normal pour des sols bien pourvus en éléments totaux et assimilables.

Par contre, il est plus difficilement explicable pour les bilans nettement déficitaires et un niveau très faible de l'élément du sol (cas fréquent pour le potassium au Sénégal). L'analyse du sol est parfaitement habitée pour juger du niveau des réserves totales et labiles d'un sol, la précision requise pour une telle appréciation étant très inférieure à celle nécessaire à une étude d'évolution du sol.

Dans le cas où nous observons simultanément un bilan déficitaire, une teneur faible dans le sol et une non réponse à la fumure, la solution doit être donnée non seulement par l'agronome, mais aussi par l'économiste.

- Si on considère la fertilité du sol comme une potentialité et la mesure de ses promesses, la gestion la meilleure sera celle qui tendra à corriger les carences du sol en suivant leur hiérarchie. Dans bien des cas cette technique nécessitera une aide de l'Etat au démarrage de l'opération pour assurer au cultivateur une marge brute convenable.

Cette technique est dès à présent applicable si la rotation comporte des cultures à fortes potentialités (maïs, riz de casiers, sorgho, cotonnier), assurant au cultivateur un revenu correct immédiat

- Si on considère la fertilité comme un état, on pourra se contenter de restituer les exportations (bilan brut nul) en appliquant la fumure qui ne modifiera pas les réserves du sol.

Toutefois, pour le cultivateur, le problème se limite à trouver dans l'immédiat la fumure permettant d'obtenir le maximum de rendement avec le minimum de frais. Il est difficile de demander au cultivateur, si l'association Sol - Plante - Pluie ne permet d'obtenir en présence de fumure qu'une faible marge brute, d'apporter un élément qui dans l'immédiat ne lui procure aucun bénéfice.

Dans ce cas une aide de l'Etat (subvention à la fumure) est souhaitable. Si on se résigne, pour des considérations strictement économiques, à ne pas apporter un élément de la fumure sur les rendements, malgré la pauvreté du sol, il est impératif de suivre de très près l'évolution des effets des éléments de la fumure sur les rendements afin de modifier les formules le plus rapidement possible en fonction des résultats. Rien ne permet d'affirmer que cette modification interviendra à temps et qu'elle sera à cette date rentable pour le cultivateur dont le seul souci reste le gain en argent et pour l'Etat dont la préoccupation est l'accroissement constant de la production globale.

