

## Correlations entre les Resultats culturaux et les Teneurs en Phosphore du Sol dans le Cas des Sols ferrugineux tropicaux du Senegal

S. Bouyer

Office de la recherche scientifique et technique outre-mer (France)

Les terres à Arachide du Sénégal appartiennent à la sous-classe des sols ferrugineux tropicaux définie par *Aubert et Duchaufour* (1); elles sont fortement sableuses, dépourvues de calcaire, pauvres en matière organique, légèrement acides et très pauvres en acide phosphorique; c'est cet élément qui joue presque toujours le rôle de facteur limitant pour la croissance de l'Arachide (2) et l'apport de phosphates constitue la base de la fumure (3). Les essais de fertilisation effectués par le Centre de Recherches Agronomiques de Bambey depuis une dizaine d'années ont conduit à la vulgarisation de quatre formules de fumure (4); on en est actuellement au stade de l'adaptation de ces formules aux diverses régions productrices du territoire; dans ce but des essais multilocaux d'engrais sont mis en place chaque année dans un certain nombre de champs de cultivateurs africains.

Mais comme il n'est pas possible de multiplier le nombre de ces essais, nous avons entrepris simultanément une étude en vue de rechercher si la simple analyse du sol peut se substituer à l'expérimentation dans la résolution de ce problème d'adaptation des fumures aux diverses régions productrices d'Arachide.

### I. Méthodes d'étude

#### 1° L'analyse du sol:

Nous analysons des échantillons moyens de terre arable prélevés sur les terrains destinés aux essais multilocaux d'engrais, avant l'épandage de l'engrais; ces échantillons moyens sont constitués par le mélange de dix prélèvements élémentaires pour une superficie de un quart d'hectare environ; cette précaution est indispensable car l'erreur d'échantillonnage est en général très importante. Nous n'envisageons dans cette étude que le cas de l'acide phosphorique, que nous avons dosé par les méthodes suivantes:

- $P_2O_5$  dit „total”: extraction par  $NO_3H$  concentré bouillant;
- méthode de Dyer: extraction par l'acide citrique à 2 p. 100;
- méthode de Truog: extraction par  $SO_4H_2$  0,002 N;

- méthode d'Olsen: extraction par  $\text{CO}_3\text{NaH}$  0,5 N;
- méthode de Saunder: extraction par  $\text{NaOH}$  0,1 N à chaud (5);
- méthodes de Bray: n° 1: extraction par  $\text{ClH}$  0,025 N contenant  $\text{FNH}_4$ ;  
n° 2: extraction par  $\text{ClH}$  0,1 N contenant  $\text{FNH}_4$ ;
- méthode de Morgan-Barbier: extraction par le réactif acéto-acétique;
- méthode biologique à l'*Aspergillus niger*.

D'autre part, l'emploi des méthodes physiques par dilution isotopique [P isotopiquement diluable — méthode de Blanchet (6)] est en cours.

### 2° Expression des resultats culturaux:

Pour la recherche des corrélations éventuelles, la variable dépendante  $y$  peut être soit le rendement — et la corrélation doit être alors positive — soit le besoin en  $\text{P}_2\text{O}_5$  dans la fumure — et la corrélation est dans ce cas évidemment négative, puisque le besoin diminue quand la richesse *du sol* augmente.

Le rendement peut être exprimé de deux façons:

- rendement brut en kg à l'hectare; c'est un nombre concret;
- rendement relatif  $\frac{y_0}{A_0} \times 100$ , expression dans laquelle  $y_0$  représente le rendement donné par le terrain non fumé et A le rendement maximum accessible par la fumure; ce rendement relatif est alors un nombre abstrait; son emploi permet d'éliminer ou tout au moins d'atténuer considérablement la variabilité imputable à la pluviosité.

La valeur de A a été déterminée elle-même par deux méthodes:

— méthode graphique d'après la courbe représentative du rendement absolu en fonction des doses croissantes de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ;

— méthode théorique, d'après la formule  $A = \frac{y_1^2 - y_0 y_2}{2y_1 - y_0 - y_2}$

établie dans la théorie de Mitscherlich; les courbes de croissance sont en effet le plus souvent des courbes de Mitscherlich bien caractéristiques.

Enfin le besoin en  $\text{P}_2\text{O}_5$  dans la fumure a été déterminé par la méthode graphique.

## II. Resultats et Discussion

### 1° Expression de la variable dependante y:

Nous avons rapidement constaté que l'emploi du rendement absolu est à rejeter, car la pluviosité introduit une variabilité importante: un terrain non fumé peut produire autant qu'un autre terrain non fumé plus riche, s'il est situé dans une région plus pluvieuse.

L'emploi du rendement relatif est plus rationnel et c'est la méthode qui nous a donné les meilleurs résultats, avec détermination de A par la méthode graphique; le calcul de A par la formule de Mitscherlich

donne des valeurs comparables, lorsqu'il est possible; mais dans certains essais, des points représentatifs de la courbe expérimentale sont aberrants et le calcul n'est plus possible.

La détermination graphique du besoin en  $P_2O_5$  n'est certes pas très précise; elle donne cependant aussi des résultats assez bons.

## 2° Choix de la méthode d'analyse:

Seule la méthode de détermination du  $P_2O_5$  „total“, extrait par l'acide nitrique concentré bouillant nous a donné des corrélations significatives; toutes les autres méthodes sont restées inférieures jusqu'à ce jour, les coefficients de corrélation étant nettement plus faibles et non significatifs; il est intéressant cependant de noter que la méthode de Saunder donne une corrélation pas très éloignée du seuil de signification; d'autre part la méthode citrique a dû être abandonnée, car les teneurs trouvées sont presque toujours inférieures au seuil de sensibilité.

Le Tableau I donne les résultats correspondant à 53 essais effectués en divers points du territoire, au cours de la période 1954—1957.

Ce tableau appelle les commentaires suivants:

— l'effet de la richesse du sol sur le rendement absolu  $y_0$  du terrain non fumé est masqué par l'effet de la pluviosité;

— il existe une corrélation positive, hautement significative, entre le rendement relatif  $\frac{y_0 \times 100}{A}$  et les teneurs en  $P_2O_5$  total; mais cette corrélation est assez faible:  $r = 0,39$ ; en première approximation l'équation de régression linéaire serait:  $\frac{y_0 \times 100}{A} = 0,06 x + 61$ . Mais l'examen du graphique portant l'ensemble des points représentatifs suggère qu'il faudrait plutôt envisager deux segments de droite successifs ou mieux une courbe avec une pente très forte au départ et beaucoup moins accentuée au delà de 110—120 p.p.m. environ de  $P_2O_5$  total; il s'agit alors de la loi des excédents moins que proportionnels et en particulier de la courbe de Mitscherlich.

— on sait que l'équation de Mitscherlich peut s'écrire sous la forme:

Log  $\frac{A_1 - y}{A_1 - y_0} = cx$ ; la variable dépendante  $y$  étant ici le rendement relatif  $\frac{y_0 \times 100}{A}$  et sa valeur maxima  $A_1$  étant égale à 100, il faut donc vérifier

que: Log  $\frac{100 - \frac{y_0 \times 100}{A}}{100 - \frac{y_0 \times 100}{A}} = cx$ , ou encore que Log  $\frac{A - y_0}{A - y_0} = cx$ .

Or on trouve que la corrélation entre l'expression Log  $\frac{A - y_0}{A - y_0}$  et la teneur en  $P_2O_5$  total du sol est très hautement significative ( $r = 0,49$ ); il en est de même du coefficient de régression et l'équation de régression linéaire est: Log  $\frac{A}{A - y_0} = \frac{1}{1000} x + 0,38$ .

Tableau I  
Corrélation entre rendement relatif et teneur du sol en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total

Points d'essais	An- nées	Teneurs en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total en p.p.m.	Rende- ment absolu Y <sub>0</sub> en kg/ha	Rendement relatif $\frac{Y_0}{A} \times 100$	$\text{Log} \frac{A}{A - Y_0}$	Besoins en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> dans la fumure en kg/ha
		↓		↓		
Katibougou	1954	381	1520	89,4	0,975	9
Ferkessédougou	1954	358	1030	85,8	0,849	22
Notto	1956	252	1040	74,3	0,590	22
Kael	1956	248	680	64,8	0,453	17
Gossas	1954	240	620	68,9	0,507	9
Ina	1955	210	960	73,8	0,583	17
Farako	1956	205	480	48,0	0,284	22
Djilor	1954	200	1060	75,7	0,615	9
Tivaouane	1957	187	470	78,3	0,664	22
M'Bour	1957	177	1630	81,5	0,733	22
Guinguineo	1954	160	560	62,2	0,423	22
Diossongue	1957	159	1410	67,1	0,483	17
Diakhao	1956	153	1460	81,1	0,724	22
Kolda	1956	153	1100	73,3	0,574	33
Youkounkoun	1955	153	600	70,6	0,531	22
Saria	1954	147	760	76,0	0,620	33
Gossas	1956	140	1510	71,9	0,551	17
Passy	1956	139	900	56,3	0,359	22
Diourbel	1954	133	560	62,2	0,423	17
Kita	1955	130	1760	73,3	0,574	22
Tarna	1956	128	710	71,0	0,538	33
Guérina	1955	126	2320	77,3	0,645	33
Diagianao	1957	126	1330	73,9	0,583	17
Keur Lahine	1956	125	1120	58,9	0,387	33
Guinguineo	1957	119	810	81,0	0,721	17
Tilmakha	1957	119	880	70,4	0,529	22
Same Diebel	1956	119	1050	55,3	0,349	17
Kolda	1954	118	1710	77,7	0,652	36
Keur Lahine	1954	117	1170	73,1	0,571	22
Guinguineo	1956	117	1390	69,5	0,516	17
Goudiry	1954	117	800	57,1	0,368	33
Diourbel	1957	115	820	74,5	0,594	17
Tarna	1954	115	960	73,8	0,583	33
Thiavando	1954	114	1550	67,4	0,487	22
Sinthiou-Malème	1954	111	1070	46,5	0,272	33
Loure	1957	109	990	82,5	0,757	22
Guérina	1954	109	1780	80,9	0,719	33
Same Diebel	1955	106	1310	77,0	0,639	33
Sinthiou-Malème	1956	106	1900	73,1	0,570	36
M'Bour	1955	102	630	70,0	0,523	33

↑

↑

Points d'essais	An-nées	Teneurs en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total en p.p.m.	Rendement absolu y <sub>0</sub> en kg/ha	Rendement relatif $\frac{y_0}{A} \times 100$	Log $\frac{A}{A-y_0}$	Besoins en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> dans la fumure en kg/ha
M'Pesoba	1955	101	1660	75,5	0,610	36
Loure	1956	99	740	52,9	0,327	36
Linguère	- 1957	96	730	60,8	0,407	33
Loure	1954	94	590	65,6	0,463	17
M'Badiane	1957	91	610	67,8	0,492	22
Same Diebel	1954	91	690	53,1	0,329	33
M'Badiane	1954	87	480	60,0	0,398	22
M'Badiane	1955	80	1100	73,3	0,574	22
Gassane	- 1956	76 71	460	57,5	0,372	33
Keur Lahine	1955	71	1320	62,9	0,430	22
Djilor	- 1955	67	1170	73,1	0,571	22
Guinguineo	- 1955	60	700	63,6	0,439	17
Thiavando	1955	48	1220	55,5	0,351	33

Nous avons vu que cette droite devrait être de la forme  $\text{Log} \frac{A}{A-y_0} = cz$  et donc passer par l'origine. Le terme 0,38 peut être attribué à l'erreur expérimentale, mais aussi très certainement au fait suivant: nous avons supposé dans cette étude que P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> était le seul facteur limitant pour la croissance de l'arachide, ce qui est très souvent le cas; en réalité dans quelques essais, la réponse de la culture à des doses croissantes de phosphates n'est pas normale, les courbes sont „écrasées"; les teneurs en azote ou en potasse du sol doivent alors avoir également une action limitante; et pour être complète, cette étude devrait donc aussi tenir compte de ces deux derniers éléments et il faudrait alors effectuer un calcul de régression partielle.

Ce qui est important c'est que la représentation graphique du rendement relatif de l'Arachide en fonction de la teneur du sol en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total est une courbe de Mitscherlich; à une teneur donnée (100 p.p.m. par ex.), correspond un rendement relatif déterminé (67); on peut alors envisager de calculer théoriquement, à l'aide de tables spécialement établies, la quantité d'engrais qu'il faut apporter pour élever le rendement relatif de 67 à 90 ou 95 par exemple.

Auparavant cependant il est indispensable de confirmer et de préciser l'équation de régression précédente;

Teneurs en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total en p.p.m.	Rendements relatifs	Besoins en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> dans la fumure en kg/ha
< 110	< 67	> 25
110 à 220	67 à 75	20 à 25
220 à 500	75 à 90	7 à 20
> 500	> 90	< 7

— il existe enfin une corrélation négative ( $r = -0,45$ ) et très hautement significative entre les besoins en  $P_2O_5$  dans la fumure et les teneurs en  $P_2O_5$  total du sol; l'équation de régression est dans ce cas:  $y = -0,05 x + 31,6$ ; mais ici encore l'hypothèse de la linéarité ne semble être qu'une approximation, et la décroissance des besoins en  $P_2O_5$  dans la fumure en fonction des teneurs croissantes en  $P_2O_5$  du sol semble devoir être traduite par une équation logarithmique qu'il reste à préciser.

Cette étude se poursuit en vue de confirmer et de préciser les relations entre les résultats culturaux et les teneurs en  $P_2O_5$  total du sol d'une part, mais aussi en vue de déterminer s'il est possible de substituer à la méthode de dosage de  $P_2O_5$  „total“, une méthode de dosage de  $P_2O_5$  „assimilable“ plus rapide; les méthodes de Saunder ou de Bray donneront peut être satisfaction à ce point de vue.

En première approximation, on peut proposer l'échelle de fertilité suivante:

### Conclusions

Les terres à Arachide du Sénégal sont très pauvres en acide phosphorique et c'est cet élément qui joue le rôle de facteur limitant. Les premiers résultats d'une étude réalisée sur des parcelles d'essais d'engrais montrent que l'on peut substituer à l'expérimentation en parcelles la simple analyse du sol; il existe en particulier une corrélation positive et significative à la probabilité  $P = 0,001$  entre les rendements relatifs obtenus et les teneurs en  $P_2O_5$  total du sol; de même il existe une corrélation négative et significative à la même probabilité entre les besoins en  $P_2O_5$  de la culture et les teneurs en  $P_2O_5$  total du sol; l'exploitation de ces résultats montre que dans un terrain très pauvre contenant moins de 110 p.p.m. de  $P_2O_5$ , le rendement relatif est inférieur aux deux tiers du rendement maximum et le besoin en  $P_2O_5$  dans la fumure est au moins égal à 25 kg/ha; au contraire dans un terrain contenant 500 p.p.m. de  $P_2O_5$  total, le rendement relatif atteint 90 et le besoin en phosphate est très faible.

Enfin il sera peut-être possible de substituer à la méthode de dosage du  $P_2O_5$  total, une méthode rapide d'exécution plus simple, telle que les méthodes de Saunder ou de Bray.

### Bibliographie

- (1) Aubert, G., et Duchaufour, Ph.: Projet de classification des sols. C. R. VI<sup>e</sup> Congrès Intern. Sc. Sol. Paris 1956, Vol. E, 597-604. — (2) Bouyer, S.: L'emploi des phosphates de Thiès dans l'agriculture sénégalaise. C. R. II<sup>e</sup> Confér. Interafric. Sols. Léopoldville, 1954, Doc. 111, Sect. III B c. — (3) Bouyer, S.: Phosphates et Arachide. Annales C. R. A. Bambey, 1950 et 1951. Minist. Fr. Outre-Mer — Bull. Agron. n<sup>o</sup> 6, 19-31 et n<sup>o</sup> 7, 53-63. — (4) Tourte, R., Gaudefroy-Demombynes, P., et Fauche, J.: Perfectionnement des techniques culturales au Sénégal. Annales C. R. A. Bambey, 1954. Minist. Fr. Outre-Mer — Bull. Agron. n<sup>o</sup> 13, 1-111. — (5) Saunder, D. H.: Determination of Available Phosphorus in Tropical Soils by Extraction with sodium Hydroxyde. Soil Sc. Déc. 1956, vol. 82, 6, 457-463. — (6) Blanchet, R.: Energie d'adsorption des ions minéraux par les colloïdes du sol et nutrition minérale des plantes. Thèse, Paris, 1958.

Sonderdruck aus:  
Verhandlungen der II. und IV. Kommission  
der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft  
Hamburg 1958 · Volume II.

---