

P₂O₅ = 120 kg., K₂O = 400 kg. Le complément minéral apporté à la paille est en moyenne de 150 kg. d'N soit 6,5 kg. par tonne de paille.

Les fumures organiques sont enfouies à l'automne tous les deux ans, les fumures minérales immédiatement avant la culture sauf pour deux années où elles ont été appliquées volontairement en partie ou en totalité en arrière-action de la fumure organique.

On constate toujours, en première année, une nette infériorité des fumures organiques traditionnelles (fumier de ferme et fumier de mouton) malgré les très fortes quantités appliquées. Ces résultats sont restés dans le même sens pendant 13 ans. Bien qu'ils confirment ceux de très nombreux expérimentateurs ils sont cependant à retenir en raison de l'intensité des fumures. La fumure minérale qui s'était classée en tête les premières années est dépassée ensuite par la paille avec complément minéral, en particulier pour la pomme de terre de primeur. A Toulouse, SOUBIES, GADET, LENAIN et FOURCASSIE (8) ont obtenu des résultats de même sens entre 1948 et 1961 dans une expérience analogue sur cultures maraichères.

En arrière-action, par contre, les parcelles recevant la fumure minérale l'année précédente donnent des rendements inférieurs aux parcelles à fumure organique, ce qui est très classique. Le fumier de mouton semble donner de meilleures arrière-actions que le fumier de bovins.

L'étude de teneurs en P et K assimilables des différents traitements en 1961, indique que l'égalité entre les traitements est maintenue de façon satisfaisante. Les variations de l'azote total entre 1950 et 1961 montrent que, même dans les conditions de l'expérience, c'est-à-dire quand seuls les racines et les collets sont restitués au sol, il n'y a pas eu de variations significatives de la teneur en azote total. Pour les très fortes fumures appliquées, le bilan est donc au voisinage de l'équilibre pour le traitement «fumure minérale».

Dans les parcelles à fumure organique, il y a, par contre un gain annuel variant de 21 kg. d'N pour la paille avec complément minéral à 27 kg. pour le fumier de bovins. Le fumier de mouton donne un gain légèrement supérieur à la paille (23 kg.). Les contrôles de la nutrition effectués, en particulier pour la pomme de terre, par des analyses pétiolaires, permettent de penser que les différences de rendement sont surtout dues à la nutrition azotée.

2. Dispositif No 50

Ce dispositif permet de comparer, au même endroit, le fumier de bovins, les fumures minérales, la paille enfouie avec et sans azote minéral. Il a été mis en place en 1946 et comporte 5 blocs de 4 traitements.

- a) Fumure minérale
- b) Paille avec complément minéral N, P, K (7 t, 5 de paille)
- c) Paille avec complément minéral P, K, sans azote minéral (7 t, 5 de paille)
- d) Fumier de ferme (31 t/ha).

La fumure minérale représente, en moyenne, 160 kg. d'N, 60 kg. de P₂O₅, 150 à 200 kg. de K₂O. Comme la fumure organique elle est donc beaucoup plus faible que dans le dispositif précédent. Par contre, le complément azote de la paille représente une centaine de kg. d'N minéral soit, par tonne de paille, une quantité double de celle enfouie dans l'essai précédent.

Ici encore, on voit que les fumures minérales donnent, la première année, des résultats très supérieurs au fumier pour les cultures comme la pomme de terre ou l'oignon de Mulhouse. La paille avec azote se comporte de la même manière. Le fumier donne, par contre, des résultats supérieurs pour des cultures plus tardives comme le maïs et les courgettes. La fumure minérale (jouant surtout dans cette expérience par sa partie azotée) est sans effet positif sur les légumineuses. La paille sans azote donne, en moyenne, des résultats toujours inférieurs au fumier. La paille avec azote et complément minéral suit d'assez près la fumure minérale et lui est parfois supérieure. En arrière-action, la fumure minérale donne toujours des rendements inférieurs à tous les autres traitements.

En ce qui concerne le bilan de la matière organique, le maximum de perte correspond à la fumure minérale (35 kg d'N par an).

Une telle valeur est le double de celle trouvée par A. MOREL, A. RICHER et P. MASSON, pour la parcelle N, P, K, dans les champs d'expériences de Deherain à GRIGNON entre 1948 et 1952 malgré les fumures plus importantes, mais les conditions de climat et de cultures sont tout à fait différentes.

Seul le traitement paille avec complément minéral incluant l'azote, est au voisinage de l'équilibre. Le traitement fumier bovins est alors déficitaire (perte moyenne annuelle du traitement 21 kg. d'N/ha pour un apport de 2 tonnes/an environ de M. S. contre un gain de 27 kg. d'N/an pour 6 tonnes de M.S. par an dans le dispositif précédent. Mais ces résultats ne permettent pas de calculer un taux de consommation pour un système de culture déterminé dans les conditions de la pratique actuelle.

La différence entre les bilans humiques des parcelles à fumure uniquement minérale d'intensité différente montre que, même dans le cas où les résidus de récolte ne sont pas enfouis, on ne peut pas définir la fumure organique nécessaire pour maintenir le bilan humique à l'équilibre dans des conditions de site et de cultures déterminées sans définir, en même temps, le régime des fumures minérales.

II. Les enfouissements de paille

Dès 1940, DEMOLON et BURGEVIN (9) signalaient que les apports de paille étaient susceptibles de compenser les pertes en matière organique d'un sol de limon et évaluaient à 5 tonnes la quantité à enfouir annuellement pour la région parisienne. Dans la même région, ces travaux ont été poursuivis par BARBIER et BOISCHOT (10).

Les résultats des expériences de ROTHAMSTED et de WOBURN installées en 1934 ont été publiés en 1951 (11).

Le même problème a été repris dans des régions plus chaudes et pour des cultures différentes par L. SOUBIES, R. GADET et P. MAURY (12) dans le Sud-Ouest de la France, par LEFEVRE, Mme BLANC-AICARD et nous-mêmes (13) en climat méditerranéen, par L. CAVAZZA en Italie (14).

On pourra trouver dans une étude récente (1960) de Mme SIMON (15) une revue générale de cette question.

En règle générale, la paille enfouie donne des excédents de rendement sur plantes sarclées et cultures maraichères surtout au bout de quelques années.

En raison de sa faible teneur en azote et donc de son C/N élevé, la paille employée seule peut donner des dépressions de rendement liées à une insuffisance d'azote disponible dans la culture suivante.

Cependant, ces effets dépressifs ne persistent pas dans les parcelles pailles dans des expériences de longue durée, les parcelles pailles possédant, au bout de 2 à 3 ans, plus d'azote minéralisable que les parcelles témoins. Certains expérimentateurs trouvent cependant des différences entre les espèces cultivées, ainsi, à ROTHAMSTED, la paille a donné des excédents de rendement sur pommes de terre mais des effets dépressifs sur betteraves.

Il peut exister des effets dépressifs autres que ceux liés à l'azote sur céréales et en particulier sur orge. Certains produits organiques extraits des chaumes et des tiges de maïs pourraient avoir une influence inhibitrice sur le développement du système racinaire des céréales.

Nous n'avons pas à nous étendre ici sur les problèmes de parasitologie liés à cette technique mais ceux-ci peuvent être très importants (piétin).

Mme SIMON (15) considère la dose d'azote minéral qu'il est nécessaire d'employer avec la paille enfouie comme de l'ordre de 10 à 12 kg. par tonne de paille. Cette quantité est presque le double de celle que l'on emploie pour la fabrication du

Valeur agronomique: L'emploi croissant des engrais azotés sous forme liquide a fait surgir de nombreux problèmes en ce qui concerne le rendement agronomique en fonction des sources solides d'azote. Comme nous l'avons fait remarquer plus haut, toute différence est due entièrement à la présence d'ammoniac libre, puisqu'il importe peu que ce soit du nitrate d'ammonium ou de l'urée qui soit épandu sur le sol, liquides ou solides. On a fait de nombreux essais, la plupart en vue de comparer l'ammoniac anhydre et le nitrate d'ammonium solide puisque ce dernier est l'engrais azoté solide le plus employé aux USA. ADAMS et ses collaborateurs se sont chargés de ce travail fait avec différentes cultures: maïs, fourrage et pâturage, riz, avoine et orge, blé et canne à sucre. Ils en ont conclu qu'il n'y a pas de différence intrinsèque entre les formes liquides et solides de l'azote; toutes choses égales d'ailleurs, on obtient une réaction semblable des plantes. Il y a naturellement des différences dans ces réactions entre les formes d'azote données: ammoniacal, nitrique et uréique. Ces différences, cependant, sont les mêmes que le composé nutritif soit liquide ou solide.

La réponse à l'ammoniac est quelquefois plus lente qu'aux solutions qui contiennent du nitrate, puisqu'il faut à l'ammoniac le temps de se convertir en nitrate avant de pouvoir être utilisé au mieux par de nombreux végétaux. Cependant, cela ne paraît pas être un inconvénient dans la plupart des cas et se trouve même probablement être un avantage. On peut faire la même comparaison entre l'urée et le nitrate d'ammoniac, en se souvenant que l'urée doit s'hydrolyser en ammoniac avant de pouvoir se nitrifier.

On dit que c'est là un avantage de l'urée; cependant l'urée a l'inconvénient de voir le produit appliqué en surface s'hydrolyser de telle sorte que l'ammoniac obtenu se perde dans l'atmosphère. C'est un problème important puisque la principale solution apportée en surface est composée d'urée et de nitrate d'ammoniac. On peut accroître le taux de l'hydrolyse en faisant agir l'uréase, catalyseur enzymatique d'hydrolyse que l'on trouve dans la végétation. Cependant, l'épandage sur un sol nu peut provoquer de lourdes pertes. VOLK a calculé que les pertes à partir d'une solution d'urée-nitrate d'ammonium (100 livres d'azote par acre — 111 kg/ha) épandue sur un sol humide et nu, au bout de 7 jours, se soldaient entre 0,1 et 29,4 % selon le type du sol. La plupart des sols perdent moins de 5 %. Les plus fortes pertes se trouvent sur les sols de pH supérieur à 6,0.

Engrais composés liquides

L'emploi des engrais liquides contenant 2 produits nutritifs ou plus ne s'est pas généralisé aussi vite que celui des liquides azotés. La raison majeure en est que, en plus des avantages dus à l'économie faite sur la manutention et l'épandage, les liquides azotés peuvent être fabriqués à un prix moindre que celui des fertilisants azotés solides. Les engrais composés liquides n'offrent pas un pareil avantage sur le prix de revient, surtout à cause du superphosphate qui est un compétiteur solide à bas prix et qui n'a pas de contrepartie dans le champ de l'engrais azoté solide.

Cependant, l'emploi des engrais composés liquides s'est accru à un taux passablement rapide aux USA pendant les 10 dernières années. Les premiers emplois proviennent de la côte du Pacifique où une production valable commença dans la dernière partie de la décade 1940—50. Aux environs de 1953, la production annuelle dépassait 20 000 tonnes. Vers ce moment-là, on construisit la première usine d'engrais composés dans la partie centrale du pays. Depuis lors, on a installé de nombreuses usines et en ce moment, on en compte plus de 400 dans tout le pays.

Il est difficile de faire une estimation de la production totale. Si l'on considère que la production annuelle moyenne par usine est de 2000 tonnes, la production totale se situe alors aux environs de 800 000 tonnes par an. Cela ne représente qu'environ 5 % de la totalité des engrais composés fabriqués, tandis que les liquides azotés comprennent maintenant plus de la moitié de l'ensemble des fertilisants azotés.

Une des raisons de l'augmentation rapide du nombre d'usines est la faible investissement que chacune demande. L'équipement est simple, dans beaucoup de cas il consiste surtout en réservoirs, pompes et instruments de mesure. Par contre, les usines qui fabriquent des engrais composés solides sont relativement complexes et onéreuses. Ceci est surtout vrai pour les usines qui fabriquent des engrais granulés, homogènes, qui exigent un équipement pour l'ammonisation, le séchage, le tamisage et le refroidissement. Un type d'usine plus simple connaît une popularité croissante — comprenant seulement le mélange des matériaux bruts granulés. Cependant, l'équipement nécessaire pour mesurer et manipuler les solides rend en général ces usines plus onéreuses qu'une usine de composés liquides.

La plupart des usines d'engrais composés liquides sont petites et ont une zone de vente limitée; par contre, les usines qui fabriquent des liquides azotés sont assez vastes. Dans la fabrication des composés liquides, il est plus économique de transporter les matières premières vers un centre local et là de les mélanger, que de les mélanger loin du point d'utilisation pour les y transporter ensuite.

La majorité des usines se trouvent dans les états de l'Ohio, Indiana, Illinois et Iowa, au centre du pays, et en Californie sur la côte du Pacifique. Dans la région Sud-Est, une des régions qui consomme le plus d'engrais, l'accroissement a été lent à cause du prix relativement bas du superphosphate ordinaire. Cependant, plusieurs usines ont été édifiées dans le Sud-Est ces 5 dernières années.

L'opération de base dans la fabrication d'engrais composés liquides est la neutralisation de l'acide phosphorique par l'ammoniac qui donne une solution de phosphate d'ammoniac. On ajoute juste ce qu'il faut d'ammoniac pour obtenir une solution neutre (pH d'environ 6,6). Ces engrais composés liquides ne contiennent pas l'ammoniac libre parce que la solubilité du phosphate d'ammoniac est très faible lorsque le rapport ammoniac-phosphate est élevé. Dans le commerce on utilise la concentration qui donne un rapport de poids de

$$\frac{N}{P_2O_5} = \frac{1}{3}$$

La solution standard fabriquée quand on n'a besoin ni d'azote ni de potasse supplémentaires est 8—24—0. Cependant, dans la plupart des cas, on a besoin d'un certain pourcentage de produits nutritifs supplémentaires; pour cela on ajoute à la solution de phosphate d'ammoniac un produit azoté et/ou du chlorure de potassium. Le produit azoté généralement utilisé est le nitrate d'ammoniac et l'urée, solution semblable à celle utilisée comme liquide azoté lors des épandages directs. On emploie cette solution parce que c'est le matériau azoté assimilable qui revient le moins cher, ce qui est appréciable dans la fabrication des composés liquides. Seule l'urée est préférable car elle est d'une plus grande solubilité par rapport aux autres produits. Cependant, son prix élevé l'empêche d'être utilisé très fréquemment.

Le chlorure de potassium est à peu près la seule source de potasse. Le type cristallisé et «blanc» est celui qui est en général utilisé parce qu'il ne contient pas d'impuretés insolubles.

L'acide phosphorique généralement utilisé est le type «blanc», celui du four électrique — c'est de même à cause de l'absence d'impuretés — l'acide obtenu par voie humide (ou «vert») revient moins cher dans la plupart des cas, mais les impuretés qu'il contient précipitent lorsque l'acide est ammonié. Cela ne doit pas perturber de façon alarmante l'utilisation de ce produit et certains fabricants le vendent quelque peu souillé. Cependant la plupart d'entre eux ont commencé la fabrication à l'aide d'acide au four et leurs clients se sont habitués à un produit propre. C'est ce qui a fait périlcliter l'emploi de l'acide obtenu par voie humide.

La plus grande partie de la production se fait par grosses quantités à la fois. Un bac d'environ 1000 gallons de capacité sert à mélanger les constituants. De nombreuses usines utilisent des instruments de mesure pour les matières premières; eau, acide, solution d'ammoniac et d'urée — et nitrate d'am-