

moniaque —, sont introduits de manière continue par les ouvertures graduées jusqu'aux quantités désirées. On utilise parfois un système de refroidissement pour agir sur la chaleur produite par la réaction de l'ammoniac sur l'acide. On pèse la potasse et on l'ajoute au moyen d'un transporteur pour solides. D'autres usines utilisent une bascule plutôt que des compteurs. Les bacs sont posés sur la bascule et on pèse les divers matériaux les uns après les autres, en même temps que se fait le mélange, jusqu'à ce que le travail soit achevé.

On fabrique un grand nombre d'engrais composés liquides différents. Les plus typiques sont: 5—10—10, 7—14—7, 8—8—8, 14—14—0 et 16—8—0. On peut fabriquer la plupart des types d'engrais composés solides en usage. Une exception: le rapport 1—4—4 qui est un rapport couramment utilisé pour les engrais solides mais qui ne peut être fait à l'état liquide puisqu'il peut y avoir attaque due à un pH faible. D'autre part, les composés liquides apportent un avantage en donnant des composés à forte teneur en azote tels que 2 : 1 : x et 3 : 1 : x, parce que l'azote supplémentaire employé revient moins cher que les matériaux azotés solides utilisés dans les composés solides.

Comme nous l'avons remarqué plus haut, le principal désavantage économique dans la fabrication des composés liquides provient du prix relativement peu élevé du superphosphate, dans certaines régions de notre pays. Là où le superphosphate s'obtient à bas prix, il est en général plus économique de fabriquer des engrais solides plutôt que des engrais liquides. Cependant il y a une tendance générale dans l'industrie des engrais solides, à l'utilisation du phosphate d'ammoniaque comme base solide dans les composés, procédé semblable à l'emploi d'une solution de phosphate d'ammoniaque comme base des composés liquides. Ainsi on tend à l'emploi des mêmes matières premières à base de phosphate et l'économie dépend davantage du prix des transports et de la manutention des produits bruts.

Rapports de solubilité

L'avènement des engrais composés liquides a posé des problèmes nouveaux et spéciaux à l'industrie des engrais. L'un d'entre eux est la complexité de la nature des relations de solubilité impliquées. Il est important de connaître ces relations parce qu'il est souhaitable que soit fabriqué un produit qui ait une concentration aussi forte que possible mais sans qu'elle occasionne une cristallisation lorsque le produit est exposé à de basses températures. Puisque la concentration possible varie fortement selon la teneur en produits nutritifs et le type des matières premières, les données de solubilité sont d'une importance capitale pour la fabrication des engrais composés liquides.

Pour le mélange habituel des produits bruts, on utilise un système de solubilité à six composants: $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 = \text{NH}_4\text{NO}_3 = \text{NH}_3 = \text{H}_3\text{PO}_4 = \text{KCl} = \text{H}_2\text{O}$. Les composés qui peuvent apparaître dans ce système comme solides cristallisants, dépendant de la teneur des composés et de la température, sont: $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, NH_4NO_3 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, NH_4Cl , KCl , et KNO_3 . On a étudié une partie de ce système et les données ont été exposées dans divers rapports. Par exemple, BROSHEER et ANDERSON ont étudié le système $\text{NH}_3 = \text{H}_3\text{PO}_4 = \text{H}_2\text{O}$ et FLATT et ses collaborateurs le système $\text{NH}_4\text{NO}_3 = \text{NH}_3 = \text{H}_3\text{PO}_4 = \text{H}_2\text{O}$. D'autres études ont été faites mais aucune n'a traité des composés de plus de 4 composants.

Pendant les 10 dernières années, après le début de la grosse production d'engrais composés liquides, on a étudié des systèmes à 6 composants qui présentent un intérêt certain dans la fabrication des engrais. Pour présenter les données obtenues sur 2 dimensions il a été nécessaire de réduire les composants à 3. Ce qui s'est fait:

1. en utilisant un taux constant de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 = \text{NH}_4\text{NO}_3$, correspondant au taux de la solution du commerce,
2. en utilisant un taux fixe de $\text{NH}_3 = \text{H}_3\text{PO}_4$ et en développant des graphiques séparés pour chaque taux étudié, et
3. en groupant les données comme une série de courbes constantes des produits nutritifs, sur un diagramme triangulaire,

laire, on élimine ainsi la teneur en eau comme une variable sur chaque courbe.

Ces données ont été trouvées en faisant des expériences factorielles complètes sur des teneurs fixes de produits nutritifs, en employant une méthode polythermale pour déterminer la solubilité et en contrôlant la méthode par une technique de multiconcentration spécialement mise au point. La figure 2* nous montre un exemple du diagramme triangulaire de solubilité obtenu. Les chiffres sur les courbes représentent la teneur totale en produits nutritifs pour une solution en équilibre avec la forme solide à 0° C. Les teneurs employées sont les concentrations les plus communément utilisées; cependant, toute concentration d'un produit nutritif peut être localisée sur le diagramme et la teneur maximale en produits nutritifs (pour une cristallisation à ou inférieure à 0° C) déterminée par interpolation. Les lignes en traits interrompus indiquent la période de l'existence des diverses phases de cristallisation.

Le diagramme indique que l'on obtient la concentration maximale en produits nutritifs avec des solutions à forte teneur en phosphate et une concentration minimale avec celles qui ont une faible teneur en potasse.

On a également relevé des résultats à des températures autres que 0° C. Ce qui peut s'exprimer par l'équation suivante: $y = a + bt$ où y est le pourcentage de produits nutritifs dans une solution saturée à la température t et a et b sont des constantes. a représente la solubilité à 0° C et b la variation de la teneur en produits nutritifs par degré. Cette équation reste satisfaisante aussi longtemps que la phase de cristallisation ne change pas pour les températures données. Lorsque cela se produit, on tire des valeurs distinctes pour chaque composé en cristallisation. Les valeurs générales pour b s'obtiennent en faisant la moyenne des données provenant d'essais groupés selon la phase de cristallisation, comme suit:

Phase de cristallisation	Coefficient de température, b
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	0,266
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	0,123
KCl	0,129
KNO_3	0,369

En utilisant ces coefficients et les données de solubilité de la figure 2 on peut calculer les solubilités aux températures allant jusqu'à 25° C (limite supérieure dans cette étude) on peut aussi calculer approximativement les solubilités à température inférieure à 0° C, sauf pour les solutions où le phosphate diammonique cristallisé à 0° C. On a trouvé qu'un changement de phase se produit dans ces solutions et que $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ cristallise au-dessous de 0° C. On n'a pas obtenu de coefficient de température pour ce composé.

Emploi de l'acide superphosphorique

L'un des principaux problèmes de l'emploi des engrais composés liquides vient de la concentration relativement faible des produits. Ceci ne pose pas de problème dans l'emploi des liquides azotés parce que l'ammoniaque permet des concentrations plus fortes que dans les solides, et même, sans ammoniaque, la combinaison urée et nitrate d'ammoniaque donne une concentration presque aussi forte que dans les principaux fertilisants azotés solides.

La difficulté est plus grande pour le rapport 1 : 3 : 0, pour lequel 8—24—0 est le degré le plus élevé réalisé ordinairement sous forme liquide. La contrepartie solide est 21—53—0 ou 18—46—0, selon qu'elle provient d'un acide sortant du four ou d'un acide obtenu par voie humide.

Une méthode capable d'accroître la concentration consiste en l'emploi de l'acide superphosphorique, produit développé par l'Agence de la Vallée du Tennessee (TVA = Agence gouvernementale des USA spécialisée dans le développement des engrais). L'acide superphosphorique contient environ la moitié de sa teneur en phosphate sous la forme de polyphosphates, composés dans lesquels les molécules contiennent 2 atomes de phosphore ou davantage dans la chaîne moléculaire. Le reste du phosphate est sous la forme orthophosphorique, avec seulement un seul atome de phosphore par molécule. Par con-

* voir fig. 2 texte anglais page 37

tentielle au maintien de son état humique. Cette question qui a déjà été étudiée au CIEC (1,2) pouvait être abordée avec les dispositifs anciens visant à répondre à la précédente. Malheureusement, les fumures minérales comme les variétés ont évolué et il devient apparent que les dispositifs anciens, difficilement modifiables, sont périmés en ce qui concerne les fumures minérales. Il est évident, d'autre part, que les dispositifs expérimentaux doivent avoir, au moins, dix ans pour que l'on puisse étudier les effets à long terme.

C. A la troisième question se rattache l'étude des assolements permettant d'obtenir, avec des fumures minérales, le maximum de résidus humiques.

Les études de ce type ont été beaucoup plus nombreuses aux Etats-Unis qu'en Europe. Elles n'ont qu'un intérêt local et il est nécessaire de disposer d'immenses surfaces de conditions écologiques analogues à celles du dispositif expérimental pour que l'on puisse tirer parti des résultats. Il convient de noter également que les conditions économiques peuvent perturber les rotations, ce qui est actuellement très fréquent dans les exploitations sans bétail.

D. La quatrième question relative aux effets à long terme concerne le problème des enfouissages de paille que l'utilisation des moissonneuses batteuses ou la rareté des fumiers a posé depuis une vingtaine d'années. Les conditions d'enfouissement, l'effet de l'adjonction des fumures azotées sur la production d'humus stable, présentent un grand intérêt. Il en est de même de la comparaison du rendement en humus stable dans le sol quand la même quantité de paille est enfouie directement ou après fermentation pour la fabrication du fumier artificiel.

2. **Les effets à moyen terme**, c'est-à-dire pendant une période de l'ordre de 2 à 3 ans intéressent l'assolement. Ils concernent surtout l'arrière-action d'une fumure organique ou d'un résidu enfoui l'année ou les années suivantes. C'est tout le problème du traitement de la tête d'assolement et c'est essentiellement une question d'azote. En effet, les fumures organiques importées donnent un effet azote d'arrière-action. D'autre part, la matière organique enfouie modifie à moyen terme le métabolisme de l'azote du sol et détermine un blocage temporaire de l'azote minéral. La matière organique peut alors provoquer ou accentuer des arrière-actions des fumures azotées minérales. Ces arrière-actions avaient été niées jusqu'à 1945 car les fumures azotées minérales étaient alors trop faibles pour que puisse exister un surplus suffisant pour avoir un effet appréciable sur l'économie de l'azote du sol l'année suivante. Les possibilités d'intervention d'une fumure organique dans une arrière-action des fumures minérales et les mécanismes de celle-ci commencent seulement à faire l'objet de recherches.
3. **Les effets à court terme** d'une fumure organique intéressent un intervalle de temps variant de quelques semaines à quelques mois et, au plus, la durée d'une culture. Ils sont dus, surtout, à la fraction de la matière organique du sol qui n'est pas encore humifiée, qui représente seulement 10% environ de la matière organique totale, et dont le C/N peut être très variable.

Les Agronomes ne se sont intéressés que récemment à cette fraction de la matière organique du sol, dont l'importance biologique est considérable puisque c'est à la fois un substrat et un aliment pour un grand nombre d'organismes animaux et végétaux de tailles diverses. Les micro-organismes, comme les organismes d'une taille supérieure, rejettent dans le milieu les produits de leur métabolisme. Ceux-ci, à des degrés divers, peuvent avoir des effets sur la croissance des plantes cultivées. Ils peuvent avoir également des effets importants bien que temporaires sur la structure.

Les organismes peuvent être des consommateurs d'éléments fertilisants, comme l'azote, qui sont restitués à leur mort au sol sous une forme parfois modifiée.

C'est dans l'étude des effets à court terme que doivent être classées les expériences sur la minéralisation dans la terre en place des engrais organiques azotés naturels ou synthétiques et des engrais verts.

Ce sont, bien entendu, les effets à court terme qui intéressent le plus les Agriculteurs puisqu'ils déterminent le rendement de l'année. Cependant, ces effets sont très dépendants de l'état humique du sol. On conçoit donc que des dispositifs expérimentaux établis pour des expériences de longue durée puissent être utilisés, par des fractionnements de parcelle par exemple, pour étudier des effets à court terme de fumures organiques ou minérales en fonction de l'état humique. Mais cette interaction entre les effets à long terme d'une part et les effets à court et à moyen terme, d'autre part, complique considérablement l'expérimentation. Malheureusement tous les dispositifs expérimentaux élaborés par les chercheurs sont jusqu'ici critiquables d'une manière ou d'une autre, et sont par trop rudimentaires.

La question de base à laquelle devrait pouvoir répondre l'Agronome à l'heure actuelle est celle-ci: à quel niveau doit-on maintenir le taux de matières organiques d'un sol pour tirer le meilleur parti des fumures minérales employées dans les conditions présentes de l'exploitation et en particulier des cultures et des rotations et, ceci, sans dégradation du fond. Il est malheureusement évident que cette question n'a pas encore reçu de réponse parce que l'analyse des conditions qui permettent l'augmentation dans le même sol de la productivité des fumures minérales est encore incomplète.

D'autre part, dans le cadre du perfectionnement actuel des fumures et en particulier des fumures minérales, trois points essentiels sont à considérer:

1. Une amélioration quantitative. On assiste, en général, à une intensification de la fertilisation minérale et notamment de la fertilisation azotée, rendue possible par l'amélioration des variétés.
2. Une amélioration qualitative, par l'élimination relative des déséquilibres, le progrès des analyses de terre et une meilleure connaissance des besoins des cultures.
3. Une amélioration des techniques d'application soit dans le temps (échelonnement) soit dans l'espace (localisation).

Le problème des relations entre les fumures organiques et les fumures minérales est altéré par cette évolution et de nouvelles questions sont alors posées. La plus importante concerne l'azote: on sait que la productivité du kilogramme d'azote appliqué diminue sensiblement pour les fortes fumures, ce que traduisent les courbes du type MITSCHERLICH. La courbe de rendement en fonction de l'intensité de la fumure azotée minérale appliquée peut être modifiée par l'intervention d'une fumure organique.

Des expériences permettant de mesurer l'importance de cette relation ont été instituées et concernent surtout les enfouissages de paille, nous y reviendrons tout à l'heure. Mais quelle soit la fumure envisagée, il est indispensable de tenir compte de l'apport d'éléments fertilisants minéraux que représentent les fumures organiques.

Voyons maintenant par la brève discussion de deux cas concrets concernant deux expériences réalisées dans le Midi de la France, combien il est difficile de remédier aux insuffisances que nous avons signalées.

Expérience de Grasse

1. Dispositif No 34

Ce dispositif expérimental permet de comparer les fumiers, la paille enfouie et la fumure minérale à égalité de N, P, K pour les fortes fumures employées en culture maraîchère.

Il a été mis en place, en 1947 à Grasse (France) et comporte 10 blocs de 4 traitements:

- a) Fumure minérale
- b) Paille 23 t/ha
- c) Fumier de bovins 50 t/ha
- d) Fumier de mouton 40 t/ha

La quantité exacte d'éléments minéraux apportés varie suivant les années en raison des variations de composition des fumiers. En moyenne, elle se situe au voisinage de N = 275 kg.,