

the total phosphate supplied either as superphosphoric acid or ammoniated superphosphoric acid. For solutions with other nutrient ratios, such as 16=16=0, 8=16=8, 7=21=7 and 9=9=9, it was necessary to supply 30 to 40 % of the P₂O₅ as sequesterant. Best sequestering results are obtained by feeding wet-process acid, sequesterant, ammonia and water simultaneously to the reactor, thereby minimizing hydrolysis of polyphosphates and sequestering impurities before they have a chance to precipitate. It was found feasible to add the sequesterant after neutralization of the wet-process acid. However, the precipitated impurities are somewhat difficult to get back in solution, which makes the operation more troublesome than sequestration before precipitation.

The sequestering method has been adopted widely in the liquid mixed fertilizer industry.

Removal of impurities: Removal of the impurities might appear to be the simplest method for handling the problem. However, there are serious difficulties associated with removal either before or after ammoniation of the acid.

Removal of the impurities from the acid, or the equivalent approach of preventing dissolution of the impurities from the phosphate ore during production of the acid, has received some study but no method economically feasible for the fertilizer industry has been developed. The ore contains the iron and aluminum in a readily soluble form, and once dissolved they are difficult to remove to the extent necessary to get a clear product after ammoniation.

Removal after neutralization of the acid is a more promising approach. However, the precipitate contains part of the phosphate as metal ammonium phosphate and cannot be discarded without severe economic loss. If the product is made in a plant in which solid fertilizer is also made, the precipitate can be incorporated into the latter to recover phosphate values. This method is in use by one producer; the precipitate is incorporated into solid ammonium phosphate fertilizers and the clear liquid (8=24=0) is distributed as a base solution to liquid mixed fertilizer producers. While this technique works well for producers who also make solid fertilizer, it is not suitable for the large number of plants in which only liquid fertilizer is made.

The clear liquor can be recovered from the solids either by filtration or decantation. However, filtration rate may be low and settling prior to decantation slow unless a special ammoniation technique is used. This problem has been studied by POTTS et al. (17). Best results in continuous neutralization were obtained by carrying out the ammoniation in two stages, with the pH carried to about 4.0 in the first stage and the remainder of the ammonia added in the second stage. The optimum concentration of the acid was about 26 % P₂O₅. Filtration could be carried out either after the first or the second stage. More rapid filtration was obtained by the former and very little further precipitation occurred when second-stage ammoniation of the filtered product was carried out.

Batch ammoniation of the acid was also feasible, but it was necessary to introduce the ammonia slowly through the pH range in which precipitation of impurities occurred (approximately 2 to 4). Rapid introduction of ammonia during this period gave very poor filtration rates, presumably because of local overammoniation and consequent precipitation of solids in a very finely divided form.

A continuous decantation method was developed during the course of this work that may be applicable to plants making only liquid fertilizer. The acid was ammoniated continuously in two stages and the product flowed into a continuous decanter. The slurry entered the decanter at a point about midway between top and bottom. Settling took place fast enough to allow continuous withdrawal of clear liquor at the top and a heavy slurry at the bottom. Tests indicated that the latter could be sprayed satisfactorily in standard application equipment. A liquid fertilizer producer might employ this process by using the clear overflow for sale to farmers for use by them, and using the underflow slurry in custom, preplant

application. Most producers do some custom application and might find use of the slurry feasible if the application were under their own control.

Suspension of impurities: Although production of clear liquid fertilizer by sequestration or removal of impurities is feasible, additional expense is involved and manufacture is more complex. A compromise approach is to suspend the impurities so that they do not settle during storage. This does not give a clear fertilizer but it helps avoid handling problems that may arise if the wet-process acid is ammoniated by the same procedure as used in ammoniating furnace acid.

Suspension of impurities has been studied by SLACK and NASON (21). Two methods were developed for making suspensions that would store satisfactorily for long periods. In one, a swelling-type clay (1 to 2 % of the product weight) was incorporated to serve as a suspending agent. In the other, the acid was neutralized continuously at a pH of about 7.0 rather than the usual 6.6 to 6.7. After all the ammonia was fed, more acid was fed to bring the pH down to the usual level. Precipitation of the impurities at the high pH gave a finely divided precipitate that settled very slowly.

Of the two methods, the use of high pH appears preferable in plants in which acid and ammonia can be fed simultaneously; no extra raw material or special mixing equipment (such as needed in using clay) is required. For weigh-type batch plants, however, use of clay is the only alternative since the neutralization pH cannot be held constant.

It was noted in this work that crystals of struvite (MgNH₄PO₄·6H₂O) appear in the product after a period of storage. In some cases these crystals grew to a size large enough to clog spray nozzles. It was found that growth of struvite could be repressed to a satisfactory degree by adjusting the final pH of the product to a range of 5.8 to 6.2, rather than the 6.6 to 6.7 used normally.

Micro and secondary nutrients

In many parts of the United States, soils are deficient in one or more of the secondary and micronutrients. The problem appears to be growing since more deficiencies are reported each year. In some cases the deficiency is corrected by a single, relatively heavy application of an appropriate compound of the deficient element. There is also a growing practice of incorporating small proportions of such compounds in mixed fertilizers.

In adding deficient nutrients to solid mixed fertilizer it is difficult to get good mixing of the small amount of added material with the major constituents and, once mixed, segregation may take place in handling. Moreover, some additives may not be compatible chemically with the other materials in the mixture.

The problem of getting adequate mixing is not a problem in working with liquid fertilizers — either liquid mixes or nitrogen liquids — but other problems are introduced. The main one is the limited solubility of many of the available materials.

Of the secondary elements, calcium and sulfur are the principal ones used in liquid fertilizers. Addition of calcium is restricted mainly to the Pacific coast area, where it is used in the form of calcium nitrate in ammonium nitrate solution. The calcium is claimed to have a soil-conditioning effect specifically needed for some of the soils in the Pacific area.

Calcium is not compatible with liquid mixed fertilizer because it precipitates as a phosphate. There appears to be little need for adding it to liquid mixes, however, since in most cases direct application of lime from local sources is more economical.

Sulfur is added both to nitrogen liquids and to liquid mixed fertilizers. Ammonium polysulfide generally is used for liquids containing free ammonia. It is highly soluble in such solutions but is not very soluble in liquid mixes. For these, ammonium bisulfite and ammonium thiosulfate are used. Am-

des distances déterminées. En d'autres termes, l'engrais est réparti localement dans le sol, par fins ruisselets. A partir de là, l'ammoniaque ne diffuse presque pas dans le sol, surtout en sol argileux lourd, s'épandant sur 5—7 cm seulement de la ligne d'épandage, et, si les conduits sont trop écartés, il peut se produire un développement végétatif par «bandes», p. ex. pour céréales semées en lignes étroites. C'est cela que fait remarquer entre autres, aux USA, C. J. CHAPMAN (Agricultural ammonia news 1960, no 5) qui voit un résultat de la post-action de l'ammoniaque sur céréales ayant comme précédent cultural le maïs, fertilisé entre les rangées.

L'effet de déplacement local de l'ammoniaque se voit sur la fig. 1 (à droite avoine dans la ligne d'épandage, à gauche à 30 cm de cette ligne).

On comprend donc que pour céréales et autres cultures en lignes rapprochées, les conduits amenant l'ammoniaque ne doivent pas être distants de plus de 25 cm.

La répartition localisée de l'ammoniaque dans le sol crée dans sa ligne d'épandage une augmentation de sa concentration et une élévation brutale, bien que temporaire, de l'alcalinité. Il se crée ainsi les premiers jours une stérilisation du sol, avec rétablissement graduelle de l'activité de la microflore. Alors augmente la mobilité des matières humiques du sol, qui, à ce moment peuvent déjà se déplacer partiellement — en cas de précipitations abondantes — dans les couches plus profondes du sol.

La faible mobilité de l'ammoniaque après l'épandage et le rythme comparativement lent de l'augmentation de mobilité (transformation en nitrates) fait que l'utilisation avant semis donne en règle générale un meilleur effet que l'épandage en période de végétation des plantes.

Même pour la fertilisation du maïs, donnant souvent le meilleur effet avec épandage des nitrates au moment de la végétation, l'épandage d'ammoniaque avant semis agit mieux que celui donné durant la végétation.

Ainsi pour l'essai de notre Institut (1959) la fertilisation du maïs par de l'eau ammoniacale avant semis donna une augmentation de rendement en fourrage vert avec épi (pour ensilage) de 87 q/ha et par épandage au début de la végétation de 50 q/ha seulement.

La fertilisation en 2 temps: 1/2 dose avant semis et l'autre 1/2 au cours de la végétation ne donne pas d'augmentation en comparaison avec le semis de la dose complète avant semis. C'est ce que montrent entre autres les résultats de 4 ans d'essais de fertilisation de la pomme de terre sur sol argileux de la Station centrale d'essais de l'Institut pan-soviétique pour la fertilisation et l'agro-pédologie (tabl. 2).

Tableau 2: Action de l'eau ammoniacale pour différents épandages sur le rendement de la pomme de terre q/ha.

Année d'essai	ammon. aq.		Nitrate d'ammon.	
	PK sans N	dose entière à plantat.	1/2 plantat. 1/2 végétat.	toute la dose à la plantation
1956	162	282	251	272
1957	222	255	247	252
1958	137	204	233	201
1959	169	226	219	226
Moyenne	170	242	238	239

S'il est absolument indispensable de fournir de l'ammoniaque aux plantes sarclées (pomme de terre, maïs, betterave sucr.) durant la période de végétation, l'apport entre les lignes et très précoce exerce l'effet fertilisant (voir tabl. 3).

Tableau 3: Rendement de la pomme de terre (q/ha) pour une dose de N de 45 kg à différents moments de la végétation.

sans azote	ammon. aq.		au début florais.
	à la plantation	au premier buttage	
169	214	189	175

L'épandage d'ammoniaque au début de la végétation donne un effet nettement plus grand parce que les opérations culturales qui suivent (sarclage, buttage) dérangent la localisa-

tion de l'engrais, le rendent plus accessible aux plantes et en augmentent la nitrification. La particularité de l'ammoniaque, sa faible mobilité dans le sol, semble la cause de sa forte post-action par comparaison avec les engrais ordinaires. Observé dans une série d'essais ce phénomène est illustré en particulier par les données de l'essai réalisé en 1959 et 1960 à notre Institut (tabl. 4).

Tableau 4: Action de l'ammon. aq. dans l'année d'épandage et l'année suivante (q/ha).

Engrais sur p. de terre en 1959	Action directe en 1959 rendement surplus N	Post-action en 1960 sur avoine-vesce	
		rendement foin	surplus N
P 80 K 60	169,0	—	30,1
PK + N 90	—	—	—
amm. aq.	225,6	56,5	39,7
PK + N 90	—	—	—
nitr. amm.	226,2	57,2	35,6
			5,5

On observe une post-action particulièrement forte pour les céréales venant après plantes sarclées, copieusement fertilisées en plus du fumier. Dans ce cas, l'augmentation du rendement en grain va de 3—9 q/ha.

Dans les essais agronomiques, la question de la possibilité d'épandre d'avance, p. ex. en automne sur semis pour l'année suivante occupe une grande place. Conformément à la fertilisation azotée ordinaire, cette question fut étudiée assez longtemps dans nos stations d'essais, principalement dans les régions méridionales p. ex. en Ukraine.

Un grand nombre d'essais furent faits, et malgré le climat relativement doux de ces régions (t moyennes de janvier —5—6°, précipitations suffisantes 550—600 mm/an) l'épandage au labour d'automne d'engrais minéraux comprenant également l'azote donna dans la plupart des cas un effet aussi marqué que l'épandage de ces engrais au printemps lors de l'ameublissement du sol. Il est vrai que l'avantage d'un épandage automnal de NPK peut être dû à l'action favorable d'un enfouissement profond de P et K par la charrue, avec N.

Pourtant il est possible, et c'est là l'utilité d'un épandage d'automne, que l'action des sels ammoniacaux purs soit plus nette, que celui d'ammonitrates, ou plus encore des nitrates. Ce n'est pas par hasard que le sulfate d'ammoniaque, entre autres, compte sans contredit comme le meilleur engrais pour le riz, cultivé en irrigation. Notons ici le travail du chercheur japonais Mitsui (Inorganic nutrition, fertilisation and soil amelioration for lowland rice — Tokyo 1956) montrant que la propriété fondamentale du sulfate d'ammoniaque, sa bonne fixation s'accompagne d'un phénomène désagréable, une intoxication manifeste des racines végétales par l'hydrogène sulfuré, à la suite de la réduction de l'ion-sulfate dans les conditions de l'anaérobiose lors de l'inondation du riz.

— Il semble que l'ammoniaque, bien retenu par le sol et ne contenant pas d'acide sulfurique, peut supplanter le sulfate d'ammoniaque dans les champs de riz.

— La possibilité de fertiliser en automne sans diminuer l'effet par rapport à la fertilisation de printemps a, bien entendu, des avantages immenses pour l'organisation du travail agricole, surtout sur l'intensité du travail en période de printemps, assurant ainsi une plus complète utilisation des machines et tracteurs.

— Concernant la fertilisation en azote liquide, cette question acquiert une actualité particulière. La principale particularité de leur utilisation est de posséder un grand volume de réservoirs pour le stockage. Et si, par exemple, l'épandage se fait seulement au printemps au cours d'un mois, alors la capacité des réservoirs des usines et des bases réparties, devra correspondre à 11 fois la production mensuelle des usines. Et l'agriculture devra disposer d'une grande quantité de machines pour le transport et l'épandage de la production au cours de ce seul mois.

— Inversement, l'épandage d'automne donne la possibilité de ramener le volume des réservoirs à une production de 4—6 mois. Ce n'est pas par hasard que ces dernières années aux USA parurent bien des publications comme par exemple celle

51