

Tableau II

	P ₂ O ₅ total provenant des engrais (en tonnes)	P ₂ O ₅ du superphosph. (en tonnes)	P ₂ O ₅ du superphosph. P ₂ O ₅ total x 100
1889	62 000	55 000	88
1905	231 000	161 000	70
1919	194 000	154 000	79
1929	494 000	330 000	67
1934	315 000	175 250	56
1936	377 000	216 000	57
1949-50	424 000	177 000	42
1954-55	645 000	182 500	28
1958-59	826 000	196 300	24

Nous constatons que le rapport de l'azote apporté sous forme de sulfate d'ammoniaque à l'azote total utilisé est allé en diminuant très rapidement depuis la guerre, et qu'il en est de même pour le rapport

P₂O₅ du superphosphate
P₂O₅ total utilisé

L'utilisation d'engrais contenant du Soufre a peu varié depuis la guerre tandis que l'utilisation de ceux n'en contenant pas s'est fortement accrue (nitrate d'ammoniaque, urée...), scories de déphosphoration dont l'accroissement de production suit celui de l'acier, phosphates naturels, superphosphates triples, engrais composés riches en éléments N, P, K).

2. Le Soufre atmosphérique

Le Soufre des eaux de pluie, ainsi que celui de l'atmosphère (SO₂) fixé directement par le sol constituent une source d'apport considérable mais très hétérogène puisque l'origine en est principalement la combustion du charbon dans les usines ou foyers domestiques. Nous pouvons dire que l'utilisation du charbon dans les usines ou les foyers domestiques ne tend pas à s'accroître. Par contre, nous n'avons pas de données sur les apports que représente le Soufre en provenance de l'utilisation de fuel-oil, en particulier dans les tracteurs agricoles.

3. Le Soufre des pesticides

Le Soufre apporté par les pesticides concerne quelques cultures particulières (vignes, arbres fruitiers) et représente pour ces cultures une nutrition en Soufre abondante. Nous noterons la disparition de l'acide sulfurique pour la destruction des mauvaises herbes. Donc, d'un côté de la balance il y a augmentation des besoins et de l'autre côté il ne semble pas qu'il y ait augmentation des apports.

II. Variabilité des apports de Soufre

Par suite de l'hétérogénéité de répartition territoriale des apports de Soufre en provenance de l'atmosphère (eaux de pluie, fixation directe) et par suite de la variabilité dans l'utilisation des formes d'engrais azotés et phosphatés suivant les sols, les cultures, etc., nous devons rencontrer des déficiences en Soufre même si le bilan général est encore favorable. Nous avons réussi à les mettre en évidence sur blé dans la terre d'une ferme située à l'Ouest de Paris, où l'Agriculture n'utilisait que des engrais azotés et phosphatés ne contenant pas de Soufre et dans une région où l'on constatait que le superphosphate apporté au début du printemps sur blé avait une action favorable qui restait inexplicable du point de vue de la fertilisation phosphatée.

III. Variabilité du besoin global

Les besoins varient considérablement suivant les cultures et l'on peut «grosso-modo» distinguer trois groupes de plantes:

- Celles qui contiennent des composés particuliers du Soufre: ce sont en particulier les crucifères (choux, navets, colza) mais aussi les oignons.
- Les légumineuses: ce sont des plantes très riches en protéines; qui synthétisent le plus de protéines à l'hectare. L'on sait que certains acides aminés essentiels (cystéine, méthionine) servent à la constitution de ces protéines et l'on comprend la nécessité d'assurer à la plante un équilibre de nutrition azote-soufre. Puisque l'azote de l'air est, pour les légumineuses, directement assimilé, on conçoit combien une déficience en Soufre peut constituer le facteur limitant de cette fonction essentielle et par suite, de la croissance et finalement du rendement.

c) Les autres cultures qui ont des besoins en Soufre moins élevés. Mais le problème de l'équilibre des nutriments azotés et sulfurés se pose aussi pour ces plantes et en particulier pour les graminées de prairies pour lesquelles la production de protéines est un objectif important.

Le Soufre étant un élément plastique, les besoins en cet élément sont donc plus spécialement liés aux facteurs qui interviennent sur la croissance de nos cultures et en particulier la fertilisation.

Cet élément sous forme d'acides aminés et plus spécialement de méthionine joue un rôle essentiel en nutrition animale. La teneur des protéines en méthionine est une norme essentielle de qualité. D'autre part, on peut

supposer, en raison du rôle primordial que jouent les protéines dans certaines qualités technologiques, que leur composition et en particulier leur teneur en acides aminés sulfurés n'est pas indifférente. De plus en plus, en Agronomie, les besoins en tel ou tel élément doivent tenir compte de ces impératifs de qualité nutritionnelle ou technologique.

IV. Périodes critiques dans la nutrition en Soufre

En nous plaçant dans le cas où nous avons une certaine probabilité de rencontrer des déficiences en Soufre (faibles apports en provenance de l'atmosphère et utilisation d'engrais ne contenant pas de Soufre), la détection de celles-ci nécessite, pour une culture déterminée, la connaissance des périodes critiques dans sa nutrition en cet élément. Cette période critique résulte du déséquilibre entre la disponibilité en Soufre et les besoins de la culture pendant cette période.

Nous avons réalisé cette étude pour le blé d'hiver, culture ayant un besoin global assez faible.

Cette expérimentation faite en pots avec une terre ne recevant habituellement que de faibles apports de Soufre comportait trois traitements différents: pots avec phosphate bicalcique, pots avec phosphate bicalcique + sulfate de chaux (le sulfate de chaux étant amené au tallage), pots avec superphosphate de chaux. Les fertilisations potassique et azotée étaient les mêmes.

Les symptômes de carence se sont manifestés nettement pendant la montaison, c'est-à-dire pendant la plus forte croissance végétative. Les feuilles ont une coloration verte plus pâle et l'aspect général des symptômes ressemble à ceux de la carence en azote: ils apparaissent à l'extrémité des feuilles les plus âgées dont les pigments disparaissent, les cellules meurent et cette partie de la feuille prend une couleur «tabac»; il n'y a pas le jaunissement caractéristique de la carence en azote.

Ce manque de Soufre a pour conséquence une diminution de la croissance et une réduction du «tallage épi». Les tiges épiées qui subsistent paraissent normales et après floraison on ne pourrait dire qu'il y a eu carence, si le témoin de comparaison était absent. Les photographies que je vous présente illustrent ces constatations.

Les teneurs en Soufre de la matière sèche sont portées dans le tableau suivant:

Prélèvement	Phosphate bicalcique	Superphosphate
	+ Sulfate de Chaux (3 Mars)	
26 mars 1959	0,41	0,57
20 avril 1959	0,22	0,70
30 juillet 1959 (Paille)	0,14	0,36
Récolte (Grain)	0,15	0,23

Nous constatons que, pendant la croissance active, le blé doit avoir une teneur élevée en Soufre pour ne pas manifester de carence. C'est aussi la période où la teneur en azote doit être élevée pour assurer la croissance maximum (4,7 % d'azote dans la matière sèche le 26 mars). Le sulfate de calcium fraîchement préparé par précipitation a rapidement alimenté la plante mais à une dose suboptimale, l'alimentation en S assurée par le superphosphate étant suffisante. Il est remarquable de constater que cette alimentation suboptimale ne s'est pas traduite par une augmentation de la teneur en Soufre du grain récolté par rapport au superphosphate et que c'est la paille qui se trouve nettement enrichie.

Si pendant la phase de formation et de maturation du grain, la plante n'ayant pas reçu de sulfate ne portait pas de symptômes visuels de carence, la teneur du grain reflète néanmoins la déficience subie par la plante.

La période critique se situe donc pour le blé au moment de la croissance active (besoin intense de Soufre), période où le sol n'a pas encore minéralisé suffisamment de Soufre de sa matière organique pour couvrir le besoin intense.

Comme pour l'azote, la fourniture de S minéral par le sol, et peut-être la chronologie de sa fourniture, dépend des précédents culturaux. Par exemple, on peut penser qu'une «Lucerne» normalement alimentée doit fournir non seulement beaucoup d'azote minéral mais aussi beaucoup de Soufre minérale à la culture qui suit.

Conclusion

En résumé, les progrès de l'Agriculture française ont conduit avec l'accroissement des rendements, à une augmentation des exportations de tous les éléments nutritifs nécessaires à la plante.

L'augmentation des besoins s'est traduite par une utilisation accrue des engrais usuels apportant N, P, K. Mais le problème de restitution des autres éléments se pose. Celui concernant le Soufre semble être le plus actuel.

Nous vous avons présenté le résultat d'une recherche sommaire de Physiologie Agronomique mais bien d'autres problèmes de cet ordre se poseront avant d'avoir une idée correcte des besoins en Soufre et de réaliser une nutrition en Soufre rationnelle de nos cultures.

Cependant, dans les conditions actuellement plus généralisées de la culture du sol, cet engrais n'est pas le plus approprié parce que nos sols sont, en majorité, acides et également pauvres en matière organique, avec un faible pouvoir tampon pour contrebalancer la réaction physiologique relativement acide du sulfate d'ammoniaque.

Le sulfate d'ammoniaque a, cependant, un sérieux concurrent dans les ammonitrates, en particulier les dilutions du nitrate d'ammoniaque avec du calcaire et le sulfonitrate d'ammoniaque.

Les dilutions de nitrate d'ammoniaque dans le calcaire possédant deux formes d'azote actif, la nitrique et l'ammoniacale en parties égales, présentent l'avantage, par rapport au sulfate d'ammoniaque, de pouvoir être utilisées comme engrais de fond ou de couverture.

Ce fait est très important car il existe la tendance, qui résulte des essais effectués par les Services Agronomiques du Nitrate du Chili (4) (5), étant donné les conditions climatiques, généralement dominantes dans le Pays, d'employer les engrais azotés dans la culture du blé uniquement en couverture.

Un autre avantage de l'emploi des dilutions du nitrate d'ammoniaque avec le calcaire dans la fertilisation de nos sols, provient de leur réaction physiologique neutre.

Pour ces raisons, la consommation des dilutions du nitrate d'ammoniaque avec le calcaire depuis qu'elles ont été introduites dans le marché pendant la campagne 1948-49, a augmenté rapidement, ayant atteint dans la dernière campagne la deuxième place avec une consommation correspondant à environ 23 % du total de l'azote.

Le sulfonitrate d'ammoniaque à 26 % d'azote dont un tiers sous la forme nitrique et deux tiers à l'état ammoniacal, paraît être pour nos sols une formule équilibrée et heureuse, comme engrais de fond. La quantité réduite d'azote nitrique permet de satisfaire les nécessités des plantes au début de la végétation, celles de la période végétative suivante étant assurées par l'azote restant sous forme ammoniacale — presque autant que dans le cas du sulfate d'ammoniaque. Il faut encore noter qu'il a sur le sulfate d'ammoniaque l'avantage de manifester une réaction physiologique moins acide.

Toutefois, les essais effectués avec cet engrais, quoique en nombre limité, paraissent ne pas confirmer complètement cette opinion.

L'évolution de la consommation du sulfate d'ammoniaque et des nitroammoniacaux, exprimée en N, dans les dernières dix années, est indiquée par les chiffres suivants:

Année agricole	Sulfate d'ammoniaque 20,5 % (N)	Nitroammoniacal 20,5 % (N)	Sulfonitrate 26 % (N)
	1949-50	13 724 t	593 t
1950-51	19 030 t	1 021 t	—
1951-52	20 989 t	2 434 t	—
1952-53	23 838 t	4 162 t	—
1953-54	28 588 t	5 586 t	383 t
1954-55	32 330 t	7 071 t	526 t
1955-56	34 055 t	8 187 t	830 t
1956-57	37 642 t	10 944 t	1 334 t
1957-58	38 649 t	13 477 t	2 083 t
1958-59	40 452 t	15 658 t	2 516 t

Bien que le sulfate d'ammoniaque ne soit pas l'engrais le plus indiqué pour la plupart de nos sols (6), quand on n'effectue pas les amendements nécessaires, chaulage et incorporation de matière organique, sa consommation a augmenté constamment.

Quant aux engrais restants, utilisés par notre agriculture avec le nitrate de soude, le nitrate de chaux, la cyanamide calcique et l'urée, ils ont une consommation plus faible relativement peu élevée et qui actuellement, dans l'ensemble, n'excède pas environ 18 % de l'azote total.

Le nitrate du Chili a été le premier engrais azoté employé par notre agriculture et, pendant la deuxième guerre mondiale, il a occupé la position la plus élevée dans l'échelle des consommations — 7861 tonnes d'azote pendant la campagne agricole 1942-3 — en assurant pratiquement pendant cette période, l'approvisionnement du marché en azotés.

Actuellement, étant donné que son unité d'azote est des plus chères, sa consommation à l'intérieur a beaucoup diminué, n'excédant pas dans l'ensemble des trois dernières années le chiffre 5578 tonnes d'azote, soit environ 1800 tonnes annuelles.

Le nitrate de chaux qui est apparu sur le marché portugais pendant la campagne 1953-54, commence à être utilisé par l'agriculture en rythme croissant, comme substitut du nitrate du Chili, sa consommation dans la campagne passée ayant atteint le chiffre de 1706 tonnes d'azote.

Quoique l'agriculture portugaise donne sa préférence au nitrate du Chili, qui lui plaît davantage et qu'elle connaît mieux, il faut cependant prévoir qu'il sera supplanté par le nitrate de chaux que le Pays commencera bientôt à produire.

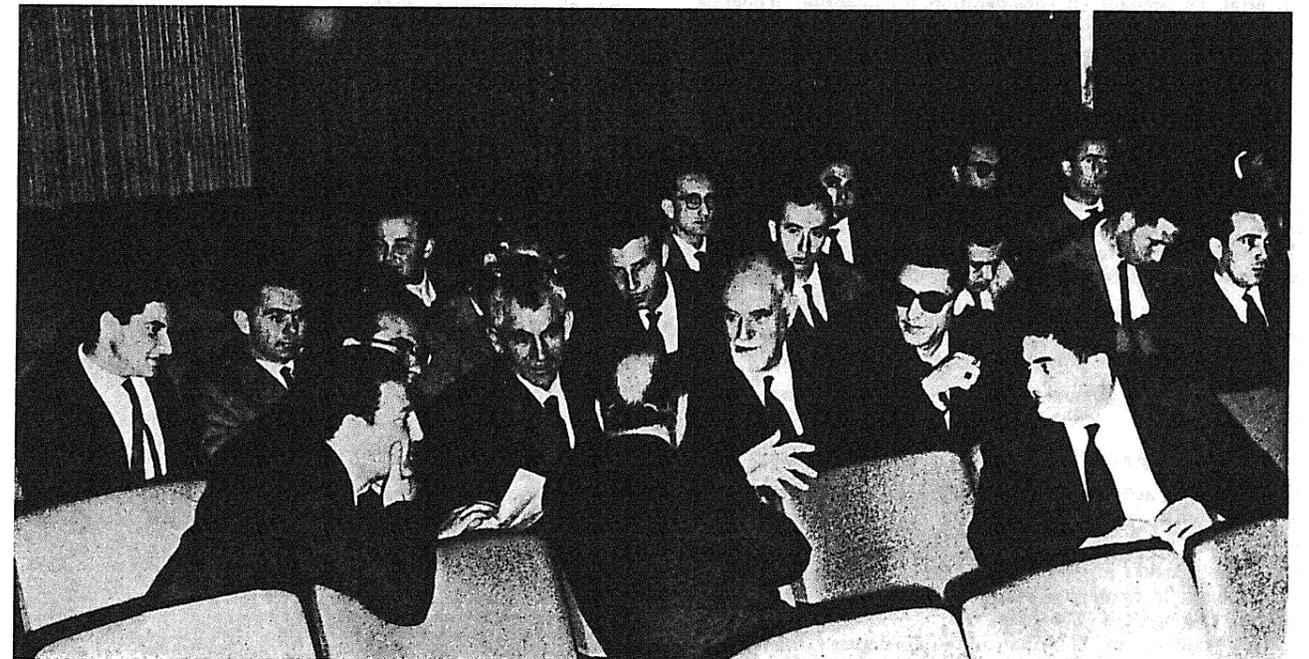
La cyanamide calcique, bien qu'elle soit un produit intéressant par la multiplicité de ses applications, car, outre qu'elle est un

Proposition présentée

par le Prof. Carlo FERRARI, Directeur de l'Institut de Chimie Agricole de l'Université de Bologne (Italie), Membre du Comité central

Je rappelle à cette Assemblée générale de notre Centre que, à conclusion de la première réunion de la Commission internationale pour l'unification des méthodes d'analyse des engrais — Paris, 27 mai 1955 — M. le Président proposa que la Commission se réunisse dans un mois environ pour examiner les points restés en suspens, notamment:

- questions d'extraction pour l'acide phosphorique;
- méthodes d'analyse Ca, Mg et S et les oligo-éléments;
- révision éventuelle des méthodes soumises au contrôle en fonction des examens qui auront pu être effectués dans l'intervalle.



Professeurs et Ingénieurs agronomes de la Faculté d'Agronomie, Université de Naples (Italie)