

FERTILISATION DES PLANTES DE GRANDE CULTURE.

A. FALISSE¹, B. BODSON¹, F. CORS², J.L. HERMAN².

- (1) Chaire de Phytotechnie, Faculté des Sciences Agronomiques, 5800 Gembloux
(2) I.R.S.I.A., Chaire de Phytotechnie, F.S.A. 5800 Gembloux

Introduction.

Devant la diversité des plantes de grande culture, il n'est pas possible de dresser ici un tableau complet et exhaustif des bases du raisonnement de la fumure, c'ad besoins, exportations et restitutions, fumures à réaliser, modalités. Aussi, on s'est limité à aborder le thème de l'évaluation des fumures en éléments P et K, ainsi qu'à examiner quelques composantes de la fumure des céréales et d'une tête de rotation, le colza.

1. LA FUMURE PHOSPHATEE ET POTASSIQUE DANS UN SYSTEME DE GRANDE CULTURE.

1.1. Le principe: l'établissement d'un bilan.

Il convient ici de rappeler brièvement les principes qui sous-tendent le raisonnement des fumures phosphatées et potassiques. Dans des sols bien pourvus en ces éléments, la fumure à réaliser est déterminée par la réalisation d'un bilan dont les éléments sont d'une part, les sorties composées des exportations par les récoltes et des pertes par fixation et/ou par lessivage, d'autre part les entrées qui comprennent les fumures organiques, les amendements contenant du phosphore et de la potasse et la fumure minérale, celle-ci étant déterminée de manière à équilibrer le bilan.

1.2. Les sorties.

Elles comprennent les exportations par les récoltes, estimées sur base de rendements de pointe pour chacune des espèces cultivées, en distinguant bien les cas où les éventuels sous-produits de la culture sont eux aussi exportés ou sont au contraire restitués au sol. A titre d'exemple et pour fixer des ordres de grandeur, le tableau 1 reprend les exportations moyennes de différents groupes de cultures pour des niveaux de rendement élevés mais réalistes.

Tableau 1 : Exportations moyennes des cultures en kg P205 et K20 par ha.

Cultures	Produit principal (racine ou grain)		Sous-produit (feuilles ou paille)		Total	
	P205	K20	P205	K20	P205	K20
Betterave sucrière (70 t/ha)	50	150	45	200	95	350
Céréales (8 t/ha) ou lin ou pois, haricot, féverole	50	35	15	80	65	115
Maïs ou colza	50	35	30	165	80	200

Les sorties comprennent aussi les pertes par fixation et lessivage, qui sont estimées ci-après en kg par ha et par an:

- P205 : 10 kg en sols non calcaires
quantités plus importantes pour les sols calcaires qui exigeront d'ailleurs une conception différente de la fumure phosphatée, compte tenu des insolubilisations des phosphates y incorporés.
- K20 : 5 à 25 kg pour les sols argileux, suivant la nature des argiles, 20 kg pour les sols limoneux, 30 à 40 kg pour les sols sablonneux.

1.3. Les entrées.

A ce poste sont comptabilisées les quantités de P205 et de K20 contenues dans les matières organiques apportées au sol, telles les fumiers, lisiers, purins, composts, et autres amendements contenant du phosphore et de la potasse; ne seront pas pris en compte les sous-produits non exportés des récoltes, ces derniers n'ayant pas quitté la parcelle.

Sont comptabilisées aussi les fumures P-K apportées au cours de la période sur laquelle porte le calcul, soit que ces fumures aient été déterminées sur base du bilan lui-même, soit qu'elles aient été apportées occasionnellement pour l'une ou l'autre des cultures, en ce compris les éventuels engrais verts.

1.4. Les fumures à apporter.

Les valeurs des entrées et sorties étant précisées, le bilan peut-être dressé.

Les valeurs déduites pour équilibrer ce bilan indiquent:

- pour des sols bien pourvus en l'élément considéré, la fumure à appliquer pour maintenir le niveau de richesse initial, réalisant ainsi une fumure d'entretien
- pour des sols pauvres, les quantités minimales des éléments nécessaires pour éviter un nouvel appauvrissement ou pour maintenir les rendements; les fumures à mettre en oeuvre apporteront ces quantités majorées des doses nécessaires à la réalisation progressive d'un redressement, dont les effets seront de deux ordres:
 - d'abord une augmentation du niveau de fertilité du sol dans les éléments considérés,
 - ensuite, ou simultanément, une augmentation de la productivité des cultures donc un accroissement des exportations.

Tableau 2 :Exemple de bilan pour une parcelle soumise à une rotation triennale betterave sucrière (70 t.de racines, 40 t. de feuilles), deux céréales (80 quintaux de grain et 5 t. de paille chacune).

Cultures	Quantité totale d'éléments exportables (y compris pertes)		Apports présumés de la matière organique enfouie ventilés par culture						Fumure complémentaire à appliquer	
	P205	K20	P205		K20		Fumure complémentaire à appliquer			
	P205	K20	feuil. 1ère bett.	2ème pail.	feuil. 1ère bett.	2ème pail.	P205	K20		
betterave	105	370	-	-	15	-	25	40	90	305
céréale 1	75	135	35	-	-	150	15	25	40	-55
céréale 2	75	135	10	15	-	50	40	15	50	30
Total	255	640	>	75	<	>	360	<	180	280

On notera que certaines des valeurs peuvent être négatives, indiquant par là qu'en sols bien pourvu et compte tenu des disponibilités laissées par les précédents, la culture considérée dispose de quantités plus que suffisantes de l'élément considéré.

De même, chaque fois que la fumure totale à appliquer au cours de la rotation est du même ordre de grandeur que celle qui s'indique pour la culture tête de rotation, il est intéressant de bloquer toute cette fumure en tête de rotation, ainsi que cela pourrait être réalisé dans l'exemple donné.

2. LA FUMURE DES CEREALES.

2.1. L'emploi de matières organiques.

En principe, il est bien connu que l'emploi des matières organiques ne trouve pas sa place idéale avant une culture de céréale. Toutefois, certaines matières organiques devront parfois être apportées avant la culture du blé, soit qu'elles constituent un résidu de la culture précédente, soit qu'il s'agisse de matières résiduelles de l'élevage dont l'importance du volume produit impose des applications avant, voire en cours de culture de la céréale.

Ces différentes matières enfouies apportent au sol les éléments minéraux qu'elles contiennent, dont une partie pourra être utile aux cultures suivantes.

Ceci signifie que les résidus de nature peu cellulosique, c'est-à-dire à C/N faible, outre qu'ils participent déjà largement à l'approvisionnement en K₂O et en P₂O₅ par exemple, contribuent aussi à l'approvisionnement de la céréale en N souvent d'une manière non négligeable.

Tableau 3 : Quantités moyennes d'azote minéral laissées par différents précédents et utilisables par la culture de céréale d'hiver suivante.

Précédent	quantités de N en kg/ha	fumure N à apporter dans une situation standard (1)
betterave sucrière feuilles enfouies	65	130
betterave sucrière feuilles enlevées	40	155
pomme de terre	55	140
lin	65	130
pois-féverole-haricot	95	100
maïs pâteux	45	150
chaume de céréale	35	160
céréale paille enfouie sans N	0 à -20	195
céréale paille enfouie avec 40N	35	160
colza	65	130
colza, paille enfouie	45	150

(1) les conditions standard sont:

- terre limoneuse,
- à bonne activité biologique
- recevant des apports réguliers mais modérés de matière organique (équivalents à 30 t./ha de fumier par rotation triennale),
- fournissant en moyenne par minéralisation 80 kg d'azote, non compris l'azote rapidement libéré à partir des résidus laissés par le précédent.

A l'opposé, des résidus à C/N élevé, tels que les pailles de céréales elles mêmes, ne libèrent leur contenu, en particulier l'azote, le phosphore et le soufre, que très lentement ; en ce qui concerne l'azote c'est même un effet inverse bien connu qui se manifeste, le rééquilibrage du rapport C/N trop élevé s'accompagnant d'une consommation momentanée mais très sensible d'azote minéral prélevé dans le milieu sol, donc détourné d'une utilisation par la céréale suivante. Ceci explique la nécessité qu'il y a de renforcer les fumures azotées pour toute céréale installée après pailles enfouies, ce renforcement étant idéalement réalisé par un apport sur les pailles elles-mêmes avant leur enfouissement.

L'utilisation des lisiers avant une céréale conduit à des difficultés de raisonnement et de maîtrise de l'alimentation azotée, à des pertes aussi. La meilleure conjonction est celle où le lisier peut être apporté sur des chaumes ou mieux, après paille, ce qui contribue d'ailleurs à la réalisation de l'équilibre C/N de celles-ci.

Dans ce domaine, l'emploi de certains préparats ou substances ayant des propriétés de modifier le rythme des nitrifications peut être d'une utilité certaine. (exemple du Didin et d'autres produits, particulièrement utiles avant l'implantation de cultures de maïs dans des champs généreusement fumés au lisier).

2.2.les engrais phosphatés et potassiques.

Sauf dans des conditions relevant de la monoculture du blé, ou de la richesse du sol, les fumures P et K seront rarement raisonnées en fonction des exigences annuelles de la céréale cultivée. C'est dans la réserve que constitue le sol en ces deux éléments que la céréale doit trouver de quoi s'alimenter; si une défaillance existe, elle sera plus manifeste et plus aigue sur les autres cultures de la rotation.

Dans des sols bien pourvus en P2O5 et en K2O, on ne retire aucun bénéfice de l'apport de ces deux éléments en cours de culture de la céréale.

Pendant une époque encore récente, on a cru que l'apport de ces éléments sous forme liquide, en cours de végétation, permettrait une absorption plus intense capable de provoquer des augmentations de rendement. Il n'en est rien en général, tout au plus peut on retenir cette possibilité pour les cas de sols relativement mal pourvus et dans des conditions où aucune fumure au semis n'a pu être réalisée.

2.3.la fumure azotée.

La norme des besoins en azote traditionnellement retenue pour les céréales est de 3 kg N/100 kg de grains produits. Avec tout ce qu'elle a d'approximatif, cette norme peut être utile pour une estimation grossière des besoins totaux. Et il est vrai que, pour réaliser une récolte d'environ 85

quintaux, le blé devra disposer d'au moins 255 kg N, quantité minimale absorbée par une telle culture, auxquels il est prudent d'ajouter l'habituel reliquat non utilisé par la culture, soit environ 15 kg/N.

Tableau 4 : Prélèvements d'azote par quintal de grain produit. (CREFA-IRSIA)

Espèce	Année	Rendement en qx/ha(1)	N prélevé(2) en kg/ha(1)	N prélevé en kg/quint. moyennes (et extrêmes)
Froment d'hiver	1984 (6)	84,01	308	3,66 (3,20 - 4,24)
	1985 (5)	85,81	271	3,16 (2,97 - 3,47)
Escourgeon	1984	89,48	232	2,59
	1985	101,28	266	2,63

(1) valeurs moyennes pour un nombre d'essais indiqué () à côté de l'année.
(2) N prélevé = N sous sol nu à la récolte + fumure optimale - reliquat sous culture à la récolte.

La fumure azotée, dont le rôle est de compléter l'approvisionnement en azote, tiendra compte des quantités déjà présentes dans le sol, du fait des reliquats non consommés par la culture précédente, du fait aussi de la minéralisation des matières organiques fraîches provenant des résidus du précédent ou des fumures organiques fraîches, ainsi que de celles plus évoluées, globalement appelées 'humus' et dont le rythme des fournitures est dépendant de nombreuses conditions.

Ceci indique clairement que les niveaux de fumure totaux ne peuvent pas être déterminés avec précision en début de culture: à ce moment, ne sont connus ni les quantités rendues disponibles à partir du sol, ni le potentiel de la culture, ni l'efficacité de l'azote dans l'élaboration du rendement en grains.

Par contre, il est possible de déterminer au mieux l'importance des besoins à un moment déterminé ainsi que la partie de ces besoins qui peut être satisfaite par l'azote minéral du sol et donc, la quantité d'azote qu'il faudra apporter par la fumure. Notons que l'estimation de la contribution de l'azote originaire du sol à l'alimentation du blé doit tenir compte non seulement de la quantité d'azote minéral présent dans le profil, mais aussi de la proportion de celui-ci qui est accessible compte tenu du développement du système racinaire actif au moment considéré.

Correctement raisonnée et appliquée en vue d'atteindre des rendements à la fois élevés et rentables, la fumure azotée permet en outre d'augmenter la valeur de certains paramètres de la qualité.

Figure 1. Effets de l'azote sur les rendements et sur la qualité, CREFA IRSIA.

2.4.1a fumure magnésienne.

Dans des sols relativement bien pourvus, l'effet du magnésium sur les rendements n'a été que très rarement favorable au cours des 10 dernières années. En 1985, des effets positifs ont toutefois été enregistrés, qui, s'ils étaient accompagnés, comme c'est souvent le cas, d'une amélioration de la qualité technologique, justifieraient des apports dans des situations qui restent à préciser.

Tableau 5. : Effets des apports de magnésium en cours de végétation du blé.
Année 1985. Variété Camp Remy.

Traitements	rendements en kg/ha	différences en kg/ha
témoin sans apport de Mg	6963	
apport de Mg sous forme chélatée le 30-05	6982	+ 19 (ns)
apport de Mg du Maneltra le 30-05	7414	+ 441 *
apport de Mg du Maneltra le 25-06	7212	+ 249
apport de kiéserite (200 kg) le 30-05	7125	+ 162
apport de kiéserite (200 kg) le 25-06	7317	+ 354 *

2.5.1a fumure soufrée.

Elément majeur, le soufre s'avère cependant très rarement manquant pour nos cultures de céréales. Rappelons ici qu'en de nombreuses circonstances, l'application de soufre fongicide s'est traduite par des augmentations de rendement même en l'absence de maladies fongiques et alors que d'autres fongicides restaient sans effet.

2.6. les oligoéléments.

2.6.1. le manganèse.

Le manganèse joue un rôle d'activation des systèmes enzymatiques au niveau des feuilles. Sa carence entraîne une chlorose internervaire des feuilles, fort semblable à celle due à la carence en magnésium, mais elle apparaît sur les feuilles les plus jeunes alors que la carence en Mg marque ses effets sur les feuilles les plus âgées.

La carence est favorisée par:

- un pH élevé ou la présence de calcaire actif
- un sol trop aéré ou trop léger
- un taux de matière organique soit trop faible, soit trop élevé qui amène le Mn à se retrouver immobilisé dans des composés organiques non assimilables.

Au cours des dernières années, la carence en manganèse est apparue d'une manière assez fréquente dans la région des polders maritimes belges, dans des conditions de pH relativement élevés, et lors de printemps froids; l'apport de l'élément sous formes de sels solubles, à des doses de plus ou moins 5kg MnSO₄ permet de guérir la carence; les expérimentateurs dans cette région ont même régulièrement constaté que l'application de maneb, fongicide à base de manganèse, faisait rapidement disparaître les signes de la carence.

2.6.2. le cuivre

Le blé est la culture la plus sensible à cette carence, avec le maïs. La carence se développe sur des parties de champs, généralement par taches arroyées.

La carence en cuivre se manifeste par un manque de grains dans les épis, un manque de fertilité qui provoque ainsi une baisse de rendement. Les symptômes en cours de végétation sont divers:

- avant l'épiaison: dessèchement et enroulement de la pointe de la dernière feuille; difficulté de l'épi à émerger de la gaine; stérilité de l'épi;
- en cours de maturation: épis dressés vers le haut, vides, tige restant verte;
- après récolte, les plantes carencées repoussent du pied et dégagent rapidement un épi.
- la carence en cuivre ne doit pas être confondue avec des accidents tels que dégâts d'hormones, gel d'épis, etc..

Cette carence est apparue dans des régions française au cours des dernières années, (Bretagne, Sologne, Champagne crayeuse, Perche, Vallée du Loir...).

Tableau 6 : Besoins et exportations de Cu par le blé.

besoins totaux	: 2 à 4 g Cu/t.MS	: 25 à 100 g/ha
exportation grain	: 3 à 10 g Cu/t	: 25 à 100 g/ha
exportation paille	: 2 à 8 g Cu/t	: 8 à 30 g/ha

Entre 1972 et 1984, les apports de Cuivre ont été réalisés sur blé dans de nombreux essais réalisés dans la région de Gembloux. A ce jour, les apports n'ont jamais été bénéfique au rendement quelle que soient les doses utilisées, les formes (sulfates, oxyquinoléates, divers chélates), les moments d'application (tallage, redressement, 2ème noeud, dernière feuille ou épiaison), et ce même pour des niveaux de rendements que l'on peut considérer comme élevés.

2.6.3. les associations d'oligoéléments.

Les applications de mélanges d'oligo-éléments sous formes solubles ont été étudiées régulièrement. Au vu des résultats (tableau 7), il n'est pas possible de recommander l'emploi de ces ensembles complexes dont il n'est d'ailleurs pas possible de préciser à priori et de manière sérieuse les effets qu'ils pourraient avoir lorsqu'ils sont appliqués sur des sols ne souffrant pas de carence manifeste en un ou l'autre élément (ce qui justifierait l'apport de celui-ci) ou sur des sols ne souffrant pas de déséquilibre physico-chimique grave (ce qui imposerait des corrections relevant du secteur des amendements ou des engrais de fond).

Tableau 7 : Effets de l'application d'associations d'oligo-éléments sur le rendement du froment d'hiver.

année	variété	rendements en kg/ha		différence
		sans mélange minéral	avec complexe	
1975	Cama	6670	6818	+ 138
	Talent	6855	6652	- 197
1976	5 variétés	5355	5404	+ 49
1980	Pony	5021	4995	- 26
1981	Armada	5627	5739	+ 112
1982	Albatros	7395	7416	+ 21
1983	Albatros	6382	6626	+ 244
1985	Camp Remy	6963	7139	+ 176

2.6.4. En résumé, les oligoéléments sur céréales.

Dans des terres "en ordre", capables d'assurer une production élevée par l'emploi de méthodes intensives, les apports d'oligoéléments ne paraissent pas systématiquement nécessaires et ce quelle que soit la forme sous laquelle ils sont apportés (sulfates ou autres sels minéraux solubles, chélates, seuls ou en mélanges complexes). Ce n'est que dans des cas très locaux où des carences ont été diagnostiquées avec précision que se justifient des apports raisonnables d'oligoéléments, sans perdre de vue la mise en oeuvre des techniques de correction des causes ayant induit ces carences.

3. FUMURE DU COLZA.

Le colza est une plante qui présente des exigences élevées pour sa croissance; les fumures seront donc généralement élevées; toutefois, les exportations sont relativement faibles pour la plupart des éléments et la culture laisse donc des quantités importantes qui contribuent à un enrichissement du sol et participent à l'alimentation des cultures suivantes. A ces égards, le colza représente bien un ensemble de plantes généralement considérées comme tête de rotation, par exemple la betterave sucrière, la pomme de terre.

Tableau 8 : Besoins, exportations et restitutions du colza d'hiver pour les principaux éléments minéraux.

Eléments	Pour un rendement de 30(40) quintaux de graines		
	Besoins totaux	Exportations par les graines	Restitutions
N	225 (300)	100 (130)	125 (160)
P2O5	80 (100)	50 (65)	30 (40)
K2O	250 (300)	40 (55)	210 (240)
S	75 (100)	25 (35)	50 (65)
CaO	150 (200)	20 (30)	130 (170)
MgO	75 (100)	15 (20)	60 (80)

3.1. Fumure phospho-potassique.

Un bilan des entrées et sorties de P2O5 et K2O sur la rotation permettra de déterminer les doses à apporter et de programmer les épandages de manière à mettre à disposition du colza une part relativement importante des quantités exigées pour la rotation. Par exemple, dans un sol bien pourvu en P et K, et pour une rotation colza- froment d'hiver-escourgeon, toutes pailles enfouies, des doses totales de 170 kg de P2O5 et de 170 kg de K2O sont suffisantes pour les trois cultures.

Il sera souvent utile de tenir compte simultanément de la satisfaction des besoins en soufre.

3.2. Fumure azotée

Bien que la graine n'exporte qu'environ 100 à 120 kg d'azote à l'hectare, le colza est une plante très exigeante en azote dont environ 225 à 300 kg sont consommés par la culture. Les nombreux essais de fumure réalisés en Belgique ont montré que des fumures devaient atteindre en moyenne et pour un colza après céréale (escourgeon) entre 175 et 250 kg d'azote. Ces doses pourront généralement être apportées en une application à la reprise de la végétation; l'application d'une partie faible de la fumure avant l'hiver ne se justifie que dans des conditions particulières de semis tardifs en terres pauvres en azote minéralisable.

En application au début du printemps, on veillera à apporter une partie de l'azote sous forme nitrique; des quantités de l'ordre de 100 kg N sous cette forme paraissent nécessaires pour assurer une reprise de végétation rapide et vigoureuse à une époque où les minéralisations sont faibles ou nulles.

3.3. Fumure soufrée

Les besoins en soufre du colza sont élevés, environ 75 kg de S (ou 225 kg de SO₃), dont environ 30 kg (80 SO₃) sont exportés. Ces besoins se manifestent surtout au printemps, entre les stades 'reprise de la végétation' et 'floraison'. Bien que nos sols soient généralement bien pourvus en soufre pour la plupart des cultures, les apports de soufre sous forme de sulfate se révèlent très favorables à l'égard du colza. Différentes formes d'engrais permettent d'effectuer ces apports, l'ion SO₄-- étant accompagné de cations utiles eux aussi à la plante. Le tableau 9 présente les teneurs des principaux engrais contenant du sulfate.

Tableau 9 . Teneurs en SO₃ de différents engrais.

Nature de l'engrais	Teneur en SO ₃
Sulfate de potassium (48% K ₂ O)	45 %
Superphosphate simple (18% P ₂ O ₅)	30 %
Sulfate d'ammoniaque (21% N)	57 %
Engrais complexes + SO ₃	diverses
Sulfo-nitrate ammonique (26% N)	37 %
Solutions azotées + SO ₃ (25% N)	12,5%

L'intérêt de l'apport de sulfate en début de printemps à été mis en évidence à de nombreuses reprises dans la période 1978-1984. Une illustration en est donnée dans le tableau 10.

Tableau 10 Effet de l'apport de sulfate sur le rendement du colza.
(Mettet 1985; Creppo-IRSIA) Fumure 200 N.

Traitement	rendements en kg/ha	différences en kg/ha
ammonitrate 27-0-0 seul	4083	
ammonitrate 27-0-0 plus KCl	4087	+ 4
solution azotée 25-0-0 plus 12,5 SO ₃	4486	+ 403
sulfate ammonique 21-0-0 plus 57 SO ₃	4484	+ 401
solution azotée 39-0-0 plus K ₂ SO ₄	4409	+ 326

3.4. Fumure en magnésium et en oligoéléments.

Le colza est moyennement exigeant en magnésium, dont il exporte seulement 1/5 de ce qu'il a consommé; dans des terres qui sont bien pourvues en MgO, du fait des apports d'amendements calcaro-magnésiens, des apports supplémentaires de magnésium sous forme de chélates en cours de végétation n'ont montré aucune efficacité.

Le colza est moyennement exigeant en éléments mineurs. Parmi ceux-ci, le bore est le plus fréquemment la cause de symptômes de carence ou de baisses de rendement.

Tableau 11 Effets des éléments secondaires et mineurs sur le rendement du colza.

Traitement	rendements en kg/ha			écarts
	essai 1	essai 2	moyenne	
Témoin	2456	3874	3165	
Apport de MgO	2357	3966	3162	- 3
Apport de bore	2408	4044	3226	+ 61
Apport d'un mélange de 6 éléments mineurs (B, Mn, Fe, Zn, Cu, Mg)	2238	4054	3146	- 19

essai 1: 1984, cv. Jet Neuf, Gembloux, 200 kg N; différences non sign.
 essai 2: 1985, cv. Bienvenu, Mettet, 200 kg N; différ.non significatives