Présentation schématique de la fertilisation P_2O_5, K_2O et Mg

Exemple : blé automne, rendement 65 dt / ha		**P_2O_5**	**K_2O**	**Mg**
Norme de fertilisation pour un rendement standard de 60 dt / ha	Voir normes de fertilisation PRIF sous les divers onglets culture	63	81	15
		x	x	x
Correction selon le rendement + 5 dt / ha	Moyenne des 3 dernières années	**65/60**	**65/60**	**65/60**
		x	x	x
Fertilité du sol (facteur de correction)	Analyses de sol	1,2	0,8	1,2
		-	-	-
Résidus de récolte du précédent (tournesol)	Voir sous l'onglet culture précédente	16	369	45
		=	=	=
Norme corrigée kg/ha	Fumure à appliquer sur la parcelle	66	-299	-26

Si les rendements sont inférieurs ou supérieurs au rendement de référence, les normes (phosphate, potasse et magnésium) sont corrigées proportionnellement. Le rendement doit être adapté selon le potentiel de la parcelle.

Coefficients de correction de la norme P, K et Mg selon la culture			
Culture	**P**	**K**	**Mg**
Céréales d'automne	1,0	0,8	1,0
Maïs	1,2	1,0	1,0
Pomme de terre	1,2	1,2	1,2
Betteraves sucrière et fourragère	1,0	0,8	1,0
Légumineuses à graines	1,0	1,2	1,0
Cultures dérobées	1,0	0,8	1,2
Autre cultures	1,0	1,0	1,0

Norme de fertilisation = rendement de référence x concentration dans la plante x correction culture

Source : Recherche Agronomique Suisse 8 (6) : publication spéciale PRIF-Juin 2017

Exigences des cultures

Pour une culture très exigeante, l'impasse sur la fertilisation risque de conduire à de fortes pertes de production, tandis que pour une culture peu exigeante, le niveau de rendement sera probablement faiblement influencé par la fertilisation PK apportée. L'exigence de chaque culture dépend de nombreux facteurs.

Exigences des cultures	Phosphore	Potasse
Très exigeantes	Colza, betterave, pommes de terre, maïs ensilage, maïs grain	Pommes de terre, colza, betterave, maïs, tournesol
Moyennement exigeantes	Féverole, pois, lupin	Pois, soja, féverole lupin
Peu exigeantes	Céréales à pailles, soja, tournesol	Céréales à pailles

La fumure **P_2O_5** (P) **K_2O** (K) **Mg** peut être gérée à l'échelle de la rotation. Une fumure plus importante peut être apportée sur des cultures très exigeantes. Il est possible de faire l'impasse sur les cultures suivantes en tenant compte des résidus de récolte.

Une impasse doit se raisonner en fonction des caractéristiques du sol et des exigences des cultures.

Possibilité d'impasse sur la fertilisation minérale P_2O_5 (P) **K_2O** (K) **et Mg en fonction de la fertilité du sol, de sa profondeur utile et des quantités d'engrais minéraux à épandre.**

Fertilité du sol selon analyse	Profondeur utile du sol [1]	Possibilité de renoncer à PK	Possibilité de renoncer à Mg
Pauvre	Superficiel	Non	Non
	Profond	Non	Non
Médiocre	Superficiel	Non	Non
	Profond	Oui	Oui
Satisfaisant	Superficiel	Oui	Non
	Profond	Oui	Oui
Riche	Superficiel	Oui	Oui
	Profond	Oui	Oui

[1] Sol superficiel : <70 cm de profondeur utile, sol profond : >70 cm de profondeur utile

Source : Recherche Agronomique Suisse 8 (6): publication spéciale PRIF -Juin 2017

Seuil de renoncement : le renoncement est envisageable en-dessous de 100 kg/ha d'engrais pour les engrais P et K simples ou composés, en-dessous de 50 kg/ha d'engrais pour les engrais magnésiens spécifiques.

Report des déficits : renoncer à un apport implique que les déficits du bilan parcellaire seront pris en compte dans le plan de fumure de l'année suivante.

Campagne[1] = année de récolte 20..

Fiche de calcul

Nom de la parcelle :	Surface :	Altitude :
Culture principale :	Variété :	Rendement attendu (dt/ha) :
Culture précédente :	Culture intercalaire :	Rendement de référence (dt/ha) :

Les indications ci-dessous renvoient aux pages du mémento agricole et aux *FT Grandes cultures*

			N	P_2O_5	K_2O	Mg	
			Kg/ha				
Calcul des besoins – Norme en fonction du rendement	Besoin pour la culture intercalaire (dérobée, engrais vert) qui précède la culture[1] +			2)			*Fertilisation PRIF* dans chaque culture : onglet Culture / Fertilisation
	Norme de base pour le rendement standard de la culture +						
	Correction selon le rendement de la culture +/-		3)	4)	4)	4)	*Mémento agricole*, chapitre *Fertilité du sol et fumure*
	Norme pour la culture et la culture intercalaire (total) =			2)			
Corrections selon analyses de sol	Résultat des analyses de sol	DS/Schacht. AAE10		x			Facteurs de correction P_2O_5, K_2O, Mg selon tableau du *Mémento agricole*, chapitre *Fertilité du sol et fumure*
	% MO / % A / % U / % S	Indice P			x		
	pH / Classe d'argile	Indice K				x	
		Indice Mg					
Corrections de la fumure azotée	- potentiel de minéralisation de la matière organique						*Mémento agricole*, chapitre *Fertilité du sol et fumure*
	- précédent cultural						
	- arrière-effet des apports d'engrais organiques	t., m³/ha x Ntot x % dispo. =					*Mémento agricole*, chapitre *Fertilité du sol et fumure*
	- pluies d'hiver et de printemps de novembre à mai						
	- sarclage répétés après la levée de la culture						
	Eléments nutritifs à apporter			2)			
Couverture des besoins – Fournitures (à déduire)	Report des soldes de la campagne précédente						*Carnet des champs*
	Résidus de récolte du précédent						*Fertilisation PRIF* dans chaque culture : onglet *Culture / Fertilisation*
	Engrais organique [1] :	t ou m³/parcelle :					*Fertilisation PRIF* dans chaque culture : onglet *Culture / Fertilisation* *N dispo. Mémento Chap. Fertilité du sol et fumure*
	Ntot / % dispo. / N dispo. / P_2O_5 / K_2O / Mg	t ou m³/ha					
	x =	x -					
	Engrais organique [2] :	t ou m³/parcelle :					
	Ntot / % dispo. / N dispo. / P_2O_5 / K_2O / Mg	t ou m³/ha					
	x =	x -					
	Soldes à couvrir par les engrais du commerce			2)			Remarques :
Apports complémentaires par les engrais du commerce (à déduire)	Engrais du commerce [1] :	dt/parcelle :					
	N dispo. / P_2O_5 / K_2O / Mg	dt/ha					
		x -					
	Engrais du commerce [2] :	dt/parcelle :					
	N dispo. / P_2O_5 / K_2O / Mg	dt/ha					
		x -					
	Engrais du commerce [3] :	dt/parcelle :					
	N dispo. / P_2O_5 / K_2O / Mg	dt/ha					
		x -					
	Solde ou manco de la campagne (à reporter sur la campagne suivante si les apports effectifs correspondent à la fumure prévue)						

1) La campagne commence dès la récolte de la culture précédente.
2) Besoin en azote à prendre en compte uniquement si épandu sur la culture intercalaire (ne doit pas être reporté sur la culture principale).
3) Correction azote en fonction du rendement : céréales et colza : vers le haut ou le bas ; autres cultures : uniquement si le rendement est inférieur au rendement standard.
4) ((norme de base x rendement) / rendement standard) – norme de base.

Campagne[1] = année de récolte 20..

Fiche de calcul

Nom de la parcelle: Les esserts	Surface: 2,4 ha	Altitude: 670 m	Les indications ci-dessous renvoient aux pages du mémento agricole et aux *FT Grandes cultures*
Culture principale: maïs ensilage	Variété: DKC 2978	Rendement attendu (dt/ha): 195	
Culture précédente: orge d'automne	Culture intercalaire dérobée (sauf mélanges fourragers)	Rendement de référence (dt/ha): 185	

			N		P_2O_5	K_2O	Mg	
			Kg/ha					
Calcul des besoins – Norme en fonction du rendement	Besoin pour la culture intercalaire (dérobée, engrais vert) qui précède la culture[1]	+		30[2]	24	67	10	*Fertilisation PRIF* dans chaque culture: onglet Culture/ Fertilisation
	Norme de base pour le rendement standard de la culture	+	110		103	235	25	
	Correction selon le rendement de la culture	+/-	–[3]		6[4]	13[4]	1[4]	*Mémento agricole*, chapitre *Fertilité du sol et fumure*
	Norme pour la culture et la culture intercalaire (total) =		110	30[2]	133	315	36	
Corrections selon analyses de sol	Résultat des analyses de sol – DS/Schacht. – AAE10				x			Facteurs de correction P_2O_5, K_2O, Mg selon tableau du *Mémento agricole*, chapitre *Fertilité du sol et fumure*
	% MO: 4,5; % A: 20; % U: 40; % S: 40	Indice P 4,5	Satisfaisant		1,1	x		
	pH: 6,9; Classe d'argile:	Indice K 2,0	Satisfaisant			1,0	x	
		Indice Mg 7,5	Médiocre				1,2	
Corrections de la fumure azotée	- potentiel de minéralisation de la matière organique moyen à élevé		-20					*Mémento agricole*, chapitre *Fertilité du sol et fumure*
	- précédent cultural		0					
	- arrière-effet des apports d'engrais organiques: t, m³/ha 10 x Ntot 4,5 x % dispo. 15 =		-5					*Mémento agricole*, chapitre *Fertilité du sol et fumure*
	- pluies d'hiver et de printemps de novembre à mai							
	- sarclage répétés après la levée de la culture: Nbre 2		-10					
	Eléments nutritifs à apporter		75	30[2]	146	315	43	
Couverture des besoins – Fournitures (à déduire)	Report des soldes de la campagne précédente				0	0	0	*Carnet des champs*
	Résidus de récolte du précédent				13	96	4	*Fertilisation PRIF* dans chaque culture: onglet *Culture/ Fertilisation*
	Engrais organique[1]: fumier au tas; t ou m³/parcelle:							*Fertilisation PRIF* dans chaque culture: onglet *Culture/ Fertilisation* *N dispo. Mémento Chap. Fertilité du sol et fumure*
	Ntot 4,5 x; % dispo. 15 =; N dispo. 0,68; P_2O_5 3; K_2O 6,1; Mg 0,93; x 20 t ou m³/ha	-	14		60	122	19	
	Engrais organique[2]: t ou m³/parcelle: Ntot x; % dispo. =; N dispo.; P_2O_5; K_2O; Mg; x t ou m³/ha	-						
	Soldes à couvrir par les engrais du commerce		61	30[2]	73	97	20	Remarques: N°1: apport sur dérobée (40kg) et N°2: apport sur maïs (230kg)
Apports complémentaires par les engrais du commerce (à déduire)	Engrais du commerce[1]: Nitrate d'ammoniaque; dt/parcelle: N dispo. 27; P_2O_5; K_2O; Mg 2,5; x 3,4 dt/ha	-	62	30			9	
	Engrais du commerce[2]: Superphosphate; dt/parcelle: P_2O_5 46; K_2O; Mg; x 1,6 dt/ha	-			74			
	Engrais du commerce[3]: Potasse 60; dt/parcelle: N dispo.; P_2O_5; K_2O 60; Mg; x 1,6 dt/ha	-				96		
	Solde ou manco de la campagne (à reporter sur la campagne suivante si les apports effectifs correspondent à la fumure prévue)		+1	0	+1	-1	-11	

1) La campagne commence dès la récolte de la culture précédente.
2) Besoin en azote à prendre en compte uniquement si épandu sur la culture intercalaire (ne doit pas être reporté sur la culture principale).
3) Correction azote en fonction du rendement: céréales et colza: vers le haut ou le bas, autres cultures: uniquement si le rendement est inférieur au rendement standard.
4) ((norme de base x rendement)/rendement standard) – norme de base.

Paramètres permettant d'évaluer le risque de carence en soufre et d'estimer les besoins en fertilisation soufrée des cultures

Les points obtenus pour chaque critère d'appréciation s'additionnent et la somme est comparée avec les données du tableau II.

Tableau I

Critères	Critères d'appréciation	Points	*Exemple (colza)*
Matière organique (%)	<2 2-5 >5	1 3 5	*3% de matière organique* **3 points**
Argile du sol (%)	<10 10-30 >30	1 3 5	*15% d'argile* **3 points**
Pierrosité (% du volume)	>30 10-30 <10	1 3 5	*12% de pierrosité* **3 points**
Profondeur utile du sol (en cm)	10-30 31-70 >70	1 5 7	*70 cm de profondeur utile* **5 points**
Précipitations octobre-mars (en mm)	>540 370-540 <370	1 3 5	*400 mm de précipitations* **3 points**
Engrais de ferme sur la parcelle	Aucun Occasionnellement (>3 ans) Régulièrement (≤3 ans)	1 3 5	*Sans engrais de ferme* **1 point**
Différence entre la dose d'N réellement appliquée et la dose prévue [1]	Supplément >40 kg N/ha Dose prévue ±40 kg N/ha Réduction >40 kg N/ha	1 3 5	*Dose prévue ± 40 kg N/ha* **3 points**
Source: Recherche Agronomique Suisse 8 (6): publication spéciale PRIF-Juin 2017.		**Total**	**21 points**

[1] Dose d'azote calculée d'après la méthode des normes corrigées ou la méthode N_{min}.

Tableau II – Besoin en soufre de quelques cultures et recommandation de fertilisation soufrée

Culture	Prélèvement en S kg/ha	Sensibilité à la carence	Fertilisation soufrée en kg S/ha selon le nombre de points (tableau I)		
Culture très exigeante			<15 points	15-23 points	>23 points
Colza	80	+++	60	35	0
Culture moyennement exigeante			<14 points	14-20 points	>20 points
Betterave	35	+	25	15	0
Luzerne	30	+	20	15	0
Maïs	28	+	20	15	0
Culture peu exigeante			<13 points	13-18 points	>18 points
Blé	23	++	20	10	0
Orge	20	++	10	0	0
Pomme de terre	20	+	10	0	0
Autres cultures	<20	+	0	0	0

Source: adapté de Recherche Agronomique Suisse 8 (6): publication spéciale PRIF-Juin 2017.

Exemple: avec les 21 points obtenus dans le tableau I et selon le tableau II, il faut apporter 35 kg/ha de soufre sur la parcelle de colza.

Forme et moment d'application de la fertilisation soufrée

- Pour les apports de soufre, appliquer les mêmes règles que la fumure azotée.
- Apport de fond assuré par les engrais de ferme (1 t de fumier ou 1 m^3 de lisier de bovin contiennent env. 0,3-0,4 kg S).
- Lors d'application d'une fertilisation spécifique avec du soufre, utiliser un engrais azoté contenant du soufre (voir *FT 19.34*).
- Des apports de soufre au moyen d'engrais minéraux potassiques, magnésiens ou complets avec une teneur en S suffisante (voir *FT 19.34*) sont également possibles.
- En cas d'apparition de symptôme de carence, appliquer une fertilisation foliaire avec un produit adéquat (sulfate de magnésium, sel d'Epson), afin de couvrir en partie les besoins momentanés de la plante en S.

Risques de carences en fonction du type de sol

Cultures et situation du sol	Blé	Orge	Avoine	Maïs	Betterave	Tournesol	Colza	Pomme de terre	Pois	Luzerne	Légumineuses
Sol acide	Mg	Mg		Mg	Mo, Mg		Mo	Mg			Mo
Sol alcalin récemment chaulé	Cu, Mn	Cu, Mn	Cu, Mn	Cu, Zn	B, Mn, Zn	B, Mn	B	Mn, Zn	Mn	B, Zn	Cu
Sol humifère	Cu, Mn	Cu, Mn	Cu, Mn	Cu, Zn, Mn	B, Mn, Zn	B, Mn	B, Mn	Mn, Zn	Mn	B, Zn	Cu
Sol léger	Mn, Mg	Mn, Mg	Mn	Mg	B, Mn, Mg	B, Mn	B	Mn, Mg	Mn	B	

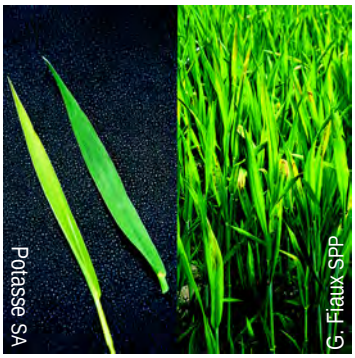
B = bore
Cu = cuivre
Mg = magnésium
Mn = manganèse
Mo = molybdène
Zn = zinc

carence occasionnelle
carence rare

Pour la fumure phosphatée et potassique, voir fiche 19.17 Fumure P_2O_5, K_2O, Mg

Commentaires généraux

- En grandes cultures, dans la majorité des sols de Suisse romande, une fumure en oligo-éléments n'est pas nécessaire.
- L'utilisation systèmatique sur certaines cultures de coktail d'oligo-éléments est une pratique coûteuse, inutile et antiéconomique.
- L'utilisation de divers stimulateurs de croissance en grandes cultures est inutile, la faible efficacité de ce type de produits ne justifie pas leur utilisation sur le plan économique.
- Un bon approvisionnement des plantes en oligo-éléments est garanti par un sol en bon état. La pulvérisation de fumure foliaire de correction ne permet pas de corriger les conséquences d'une structure de sol endommagé.
- Dans certaines circonstances où une carence est attendue ou constatée, l'utilisation d'un engrais foliaire anti-carentiel spécifique est recommandé. L'engrais utilisé doit contenir uniquement l'oligo-élément concerné mais en quantité suffisante et non excessive.
- Dans certaines situations, la sub-carence devient très vite une toxicité.

	Principales carences		
Céréales	Mn G. Fiaux SPP	Mg G. Fiaux SPP	S  Potasse SA G. Fiaux SPP
Maïs	Zn G. Fiaux SPP	Mg Potasse SA	P G. Fiaux SPP
Pomme de terre	Mn G. Fiaux SPP	Mg Potasse SA	K G. Fiaux SPP
Colza	B SRVA	Mg Potasse SA	S Potasse SA Potasse SA
Betterave	Mn Potasse SA	B Potasse SA	S Potasse SA

B = bore Zn = zinc P = phosphore Mg = magnésium
Mn = manganèse K = potassium S = soufre

Bore et manganèse

Dans quelques cas, une fertilisation avec du bore (B) ou du manganèse (Mn) peut s'avérer indispensable. Les apports de B et Mn sont dépendants des résultats d'analyse du sol, du type de sol et de la culture.

Classe de fertilité et appréciation		Teneur du sol en ppm		Teneur en matière organique du sol					
				Sol pauvre à normalement pourvu (**< 10%**)		Sol riche et humifère (**> 10%**)			
						Sol **acide et faiblement acide**		Sol **neutre et alcalin**	
				Culture peu exigeante	**Culture exigeante**	**Culture peu exigeante**	**Culture exigeante**	**Culture peu exigeante**	**Culture exigeante**
Bore (B)									
A	Pauvre	< 0,6		1,5 - 2,0 kg B/ha❶	2,5 - 3,0 kg B/ha❶	1,5 - 2,0 kg B/ha❶	2,5 - 3,0 kg B/ha❶	1,5 - 2,0 kg B/ha❶	2,5 - 3,0 kg B/ha❶
B	Médiocre	0,6 - 1,5		---	1,5 - 2,0 kg B/ha❶	---	2,0 - 2,5 kg B/ha❶	---	2,0 - 2,5 kg B/ha❶
C D E	Satisfaisant Riche Très riche	1,6 - 2,0 2,1 - 5,0 > 5,0		---	---	---	---	---	---
Manganèse (Mn)									
		Echangeable	**Potentiellement échangeable**						
A	Pauvre	< 2		20 - 40 kg Mn/ha❶	30 - 50 kg Mn/ha❶	30 - 50 kg Mn/ha❶	40 - 60 kg Mn/ha❶	10 - 15 kg/ha sulfate de manganèse❷	
B	Médiocre	> 2	< 50	20 - 40 kg Mn/ha❶	20 - 40 kg Mn/ha❶	20 - 40 kg Mn/ha❶	20 - 40 kg Mn/ha❶		
C	Satisfaisant	> 2	> 50	---	---	---	---	---	---

Source : Données de Base pour la Fumure (DBF), Revue suisse Agric. 41 (1), 2009.

❶ Fumure au sol. Le B peut être apporté au sol sous forme de borax, pulvérisé au sol sous forme d'acide borique ou par des engrais composés boratés.

❷ L'application du Mn sur le sol n'est pas efficace dans ces conditions, utiliser donc l'application foliaire (dans 600 - 1000 l d'eau). Il est recommandé de répéter les applications. Le sulfate de manganèse peut être remplacé par d'autres produits spécifiques contenant du manganèse.

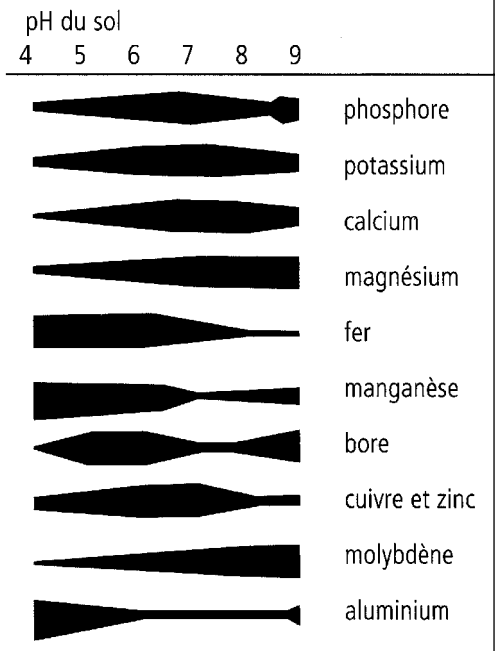
Cultures exigeantes en :

- B betteraves, colza et tournesol;
- Mn céréales, légumineuses et betteraves.

Autres oligo-éléments

Une analyse du sol ne se justifie que dans des cas exceptionnels, après avoir pris contact avec le service de vulgarisation ou une station de recherche agronomique.

Influence du pH du sol sur la solubilité des éléments nutritifs



Quantités annuelles d'engrais de ferme produites par les animaux de rente en fonction du système de stabulation

Type d'animaux / Type de production		Quantité annuelle d'engrais de ferme produit en stabulation❶ et quantité de paille utilisée en fonction du système de stabulation❷					
		Lisier seul❸ (m³)	Purin et fumier❸❹			Fumier seuil❹	
			Paille (dt/an)	Purin pauvre en fèces (m³)	Fumier (t)	Paille (dt/an)	Fumier (t)
1	Vache laitière avec 6'500 kg de lait/an ❺	23	6,8	11,5	8,9	30	21
1	Vache allaitante	15,5	5	8	6	25	14
1	Bovin d'élevage moins de 1 an	5,5	1,5	2,7	2	8	5
1	Bovin d'élevage 1 à 2 ans	8	2,5	4	3	12	7
1	Bovin d'élevage plus de 2 ans	11	3,5	5,5	4	16	10
1	Place de veau à l'engrais					3,5	2,2
1	Veau allaité		3,5	1,8	1,4	3,5	3
1	Place de bovin à l'engrais (125-500 kg)	7,5	Selon l'étable❻			15	6,8
1	Place de broutard bovin à l'engrais	8				15	7
1	Cheval (fumier frais)					29	12❼
1	Jument avec poulain (fumier frais)					36	14❼
1	Poulain 0,5-2,5 ans (fumier frais)					15	10❼
1	Place de chèvre					3,7	1,6
1	Place de mouton					3,7	1,7
1	Place de brebis laitière					3,7	2,3
1	Place de porc à l'engrais❽	1,6	Selon l'étable❻			2,6	1,2
1	Place de porc d'élevage	6				8	3,4
1	Place de truie après mise bas❽	7,2				10	4
1	Place de truie portante	3,6				6	2
1	Place de porcelet	0,8				1	0,5
		Tapis à crottes		Caisse à crottes / élevage au sol			
100	Places de poules pondeuses	2,7		1,5			
100	Places de poulettes			0,8			
100	Places de poulets à l'engrais			0,8			
100	Places de dindes à l'engrais			3,0			

Source : Données de Base pour la Fumure (DBF), Revue suisse Agric. 41 (1), 2009.

❶ Lorsque le bétail est temporairement absent de l'étable (pâture, alpage), il faut réduire la quantité d'engrais de ferme produit en proportion. Les quantités se rapportent à une production moyenne.

❷ Pour les stabulations entravées et libres, on peut calculer avec les mêmes quantités. Les quantités de fumier qui sont indiquées comprennent les pertes au stockage. Celles-ci peuvent varier en fonction du type de fumier, de la manière de le stocker, des conditions climatiques, etc. Pour un fumier au tas ou un fumier de stabulation il faut compter 700-800 kg/m³. Du fumier chargé sur l'épandeuse à la grue ou au frontal pèse env. 550-650 kg/m³, du fumier chargé à la main 700-800 kg/m³.

❸ La quantité de lisier ou de purin indiquée correspond à du lisier non dilué. Le lisier contient toutes les fèces et les urines; le purin contient une petite partie des fèces et pratiquement toute l'urine. La dilution usuelle est de 1 : 1 (part de lisier : part d'eau). Avec une dilution plus importante (1 : 2 pour le lisier ou 1 : 3 pour le purin) on peut réduire sensiblement les pertes en ammoniac, en particulier en été.

❹ Le type et la qualité du fumier dépendent à la fois de la quantité de litière utilisée et de la proportion de fèces et d'urines qu'il contient.

❺ Se rapporte à une production annuelle moyenne de 6'500 kg de lait. Par 1'000 kg de lait en moins, réduire de 10 % les déjections; par 1'000 kg de lait supplémentaire, les augmenter de 2 %. Cette correction tient compte des variations du poids vif des animaux.

❻ La répartition peut être estimée par rapport à la surface concernée. Exemple : pour une étable ayant 60 % de surface avec litière et 40 % de caillebotis, on compte 40 % de la quantité du lisier indiquée et 60 % de la quantité de fumier de stabulation.

❼ Ces données concernent le fumier de cheval frais (stockage inférieur à 1 mois). Pour un stockage ou une décomposition supérieure à 3 mois, on peut prendre en compte la moitié des valeurs indiquées.

❽ Les quantités d'eau usuelles provenant de biberons d'abreuvoirs non étanches ont été prises en compte. Si les biberons sont très perméables, la dilution et la quantité de purin ou de lisier peuvent être plus importantes.

Teneurs moyennes et proportion d'azote disponible à moyen terme des engrais de ferme

Type d'animal / d'engrais de ferme	Teneurs en kg/m³ de lisier/purin non dilué et en kg/t de fumier							Disponibilité de l'azote en % de l'azote total❻		
								A moyen terme en cas d'apport régulier❼	Grandes cultures	
									L'année	
	MS	MO	$P_2O_5$❸	K_2O❹	Mg❸	Ca❸	N_{tot}❺		d'application	suivante
Vache laitière / élevage										
Lisier❶	90	70	1,8	8,0	0,5	2,0	4,3	50 - 70	45	5
Purin pauvre en fèces ❶	75	40	1,2	11,6	0,5	1,3	4,9	65 - 85	60	5
Fumier au tas❷	190	150	3,2	6,6	0,8	3,7	4,9	20 - 40*	15	10
Fumier de stabulation❷	210	175	2,2	10,8	0,7	2,7	5,3	25 - 50*	20	10
Bovin à l'engrais										
Lisier❶	90	65	1,7	5,2	0,7	1,3	4,3	50 - 70	45	5
Fumier de stabulation❷	210	155	2,3	8,9	0,9	2,3	5,4	25 - 50*	20	10
Veau										
Fumier de veau❷	200	150	2,3	5,5	0,3	1,0	5,3	25 - 50*	20	10
Cheval										
Fumier de cheval, frais❷	350	300	2,5	9,8	0,6	2,5	4,4	10 - 25*	10	5
Fumier de cheval, mûr❷	350	240	5,0	19,5	1,3	5,0	6,8	10 - 25*	10	5
Mouton / chèvre										
Fumier de mouton / chèvre❷	270	200	3,3	16,0	1,2	4,7	8,0	40 - 60*	30	10
Porc										
Lisier de proc, engrais❶❽	50	36	3,8	4,4	0,6	1,3	6,0	50 - 70	50	10
Lisier de porc, élevage❶❾	50	33	3,2	3,2	0,5	2,0	4,7	50 - 70	50	10
Fumier de porc❷	270	40	7,0	8,3	1,2	4,7	7,8	40 - 60*	35	10
Volaille										
Crottes de poules (tapis)❷	350	250	17	11	2,4	37	21	40 - 60*	40	10
Fumier de poules (fosse à crottes, élevage au sol)❷	500	330	30	20	4,3	65	27	40 - 60*	35	10
Fumier de poulettes	500	430	26	15	3,1	14	30	40 - 60*	35	10
Fumier de poules❷❿	650	440	20	28	5,6	3,8	34	40 - 60*	35	5
Fumier de dindes❷	600	400	23	13	6,0	12	28	40 - 60*	35	5

Source : Données de Base pour la Fumure (DBF), Revue suisse Agric. 41 (1), 2009.

❶ La quantité de lisier ou de purin indiquée correspond à du lisier non dilué. Grâce à une dilution plus importante avant l'épandage, on peut réduire sensiblement les pertes en ammoniac, principalement durant l'été.

❷ Lorsqu'il n'y a pas d'autres informations, les valeurs sont basées sur une décomposition moyenne.

❸ Plus 5-10 %, lorsque l'aliment minéral complémentaire (bovin) est plus élevé que le besoin des animaux ou lorsque la teneur du fourrage est plus élevée que celle que conseillent les stations de recherche agronomique (principalement avec le porc et la volaille).

❹ Pour les animaux qui consomment du fourrage grossier dans les exploitations, dont la teneur en K du fourrage sec est de 25-30 g/kg MS. Dans les exploitations où le fourrage sec a une teneur moyenne en potassium de 20-25 g K/kg MS, le potassium produit par les animaux consommant principalement des herbages diminuent en gros de 15 %. Pour une teneur moyenne inférieure à 20 g K/kg MS, la teneur en potassium de l'engrais de ferme diminue de 30 %. Pour les porcs à l'engrais, lorsque les rations contiennent une forte proportion de petit-lait, de betteraves et de pommes de terre, la teneur est de 30 % plus élevée.

❺ Azote total. Les pertes inévitables à l'écurie et au tas (principalement de l'ammoniac) ont été déduites. Pour des animaux consommant du fourrage grossier (sauf le cheval), elles sont de 15 % en stabulation entravée et de 20 % en stabulation libre, pour le fumier de cheval frais de 10% et pour celui au tas de 30 %, pour les porcs de 20 %, pour les poules pondeuses de 30 % avec le tapis roulant et de 50 % avec la caisse à crottes (élevage au sol), pour les volailles à l'engrais de 40 %.

❻ Lors d'une application optimale (sans pertes) d'engrais de ferme, l'azote restant est minéralisé durant les années suivantes. La minéralisation dépend fortement des condition de sol et de climat.

❼ En culture fourragère, il faut calculer avec les valeurs supérieures de la fourchette alors qu'en grandes cultures, se sont plutôt les valeurs inférieures. Dans les conditions moyennes de sol et de climat de la Suisse, cette quantité devrait être disponible pour les plantes lorsque l'application est optimale. Elle comprend à la fois la disponibilité à court terme et l'arrière-effet sur les années suivantes. Pour les parcelles qui reçoivent régulièrement des engrais de ferme, cette disponibilité peut être utilisée dans le plan de fumure, c'est une manière simple de prendre en compte l'arrière-effet d'apports antérieurs. Lors d'une application unique de fumier, l'effet de l'azote est réparti sur 2 à 3 ans. Avec le purin, cette manière de faire n'a pas de sens.

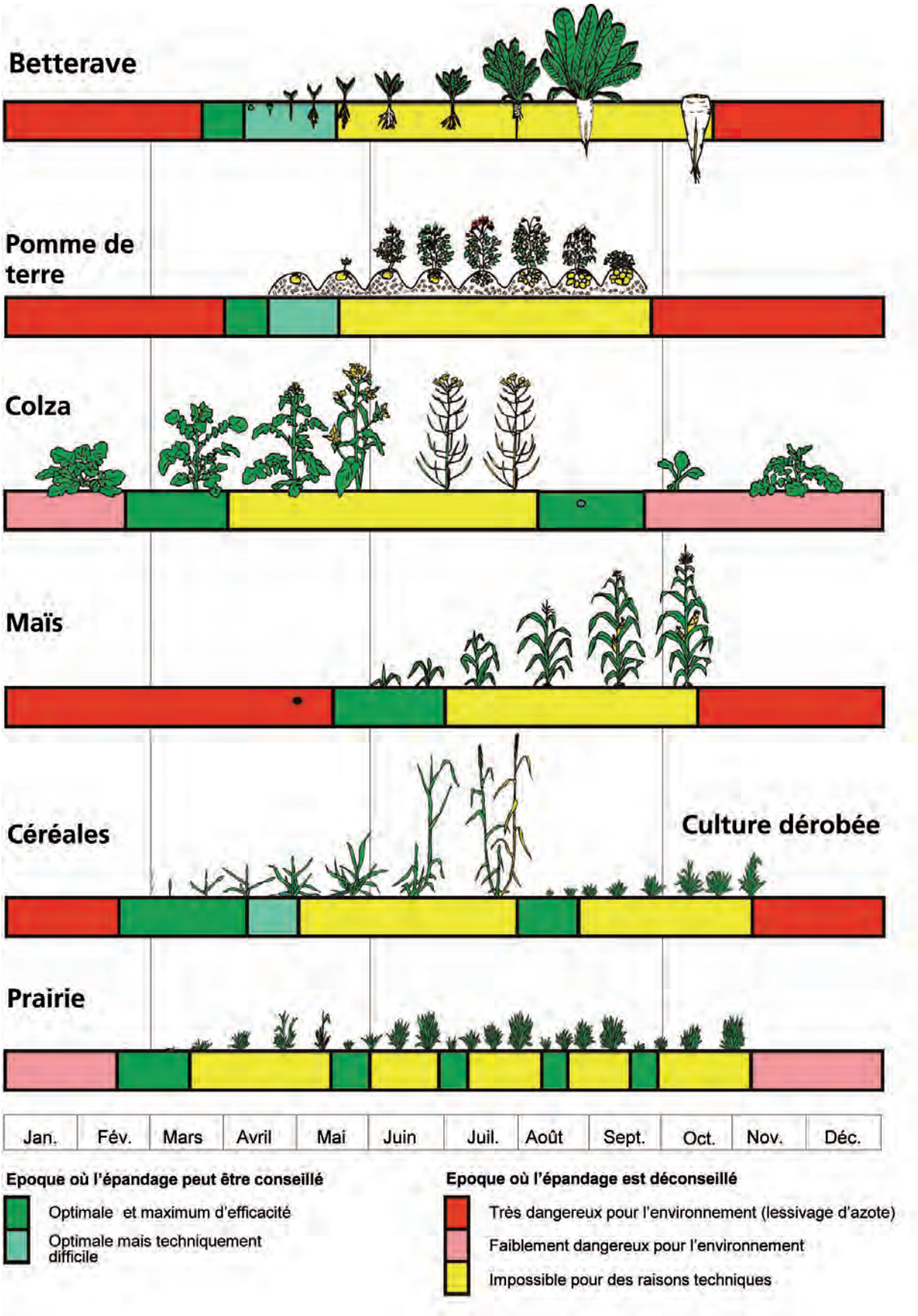
❽ La teneur en phosphate est basée sur un taux de 6 g P/kg fourrage (13,5 MJ EDP). Une variation de 2 g P/kg engendre une augmentation ou diminution de 25 %. La teneur en azote est basée sur une teneur en protéines brutes de 170 g/kg de fourrage (13,5 MJ EDP). Une variation en protéines brutes de 10 g/kg engendre une augmentation ou diminution de 8 %.

❾ La production de P_2O_5 est basée sur une teneur en P du fourrage de 5,7 g/kg (88 % MS, moyenne pondérée de tous les fourrages). Pour chaque variation de 1 g/kg du fourrage, la production de P_2O_5 varie d'environ 20 %.

❿ Ces données sont valables pour des systèmes de production courants (situation 2001), indépendamment de la durée d'engraissement et du type d'animal.

* Dans les sols avec un taux d'argile supérieur à 30 %, il ne faut pas utiliser une valeur supérieure à celle du bas de la fourchette; l'efficactié est souvent encore plus faible dans ces conditions de sol. Pour l'année qui suit l'application, la disponibilité est également plus faible.

Représentation schématique des possibilités d'épandage du lisier en fonction du développement des cultures



Définitions

Engrais de recyclage : engrais d'origine végétale, animale, microbienne ou minérale ou provenant de l'épuration des eaux, tels que (OEng art. 5 al. 2b, 1 + 2) :

1. **Le compost :** matières végétales, animales ou microbiennes décomposées de manière appropriée en conditions **aérobies**, avec ou sans méthanisation préalable.
2. **Les digestats solides ou liquides :** matières végétales, animales ou microbiennes fermentées de manière appropriée en conditions **anaérobies**; les digestats sont liquides lorsque la teneur en matière sèche est inférieure à 12 %.

Installations de méthanisation industrielles (en général, fermentation en phase solide, par exemple : installations de compostage).

Les digestats provenant d'installations de méthanisation agricoles ne sont plus considérés comme engrais de ferme, mais comptent comme **engrais de recyclage,** si la part des produits de provenance non agricole dépasse 20 % (matière fraîche).

Effets et considérations agronomiques

	Digestat liquide	**Digestat solide**	**Compost**
But (point fort)	Apport d'éléments nutritifs >> amélioration de la structure (de l'état) du sol	Apport d'éléments nutritifs > amélioration de la structure (de l'état) du sol	Amélioration de la structure (de l'état) du sol et fumure de fond
Matière organique (MO)	Peu stabilisée		Stabilisée → grand effet de substitution de l'humus
Phytotoxicité	Relativement phytotoxique		Bas
Effet fertilisation	Très bon à court terme		Bon à moyen-long terme
Forme de l'azote	$N\text{-}NO_3 < N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_3 < N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_3 > N\text{-}NH_4$ peu mûr : $N\text{-}NO_3/N\text{-}NH_4 < 2$
Qualitativement comparable	Lisier	Fumier	
Points critiques	Risques de pertes ammoniacales (NH_3) issues de NH_4		Peu mûr : blocage d'azote

Source : J.G. Fuchs.

Teneurs en éléments nutritifs

Les teneurs en éléments nutritifs peuvent être très variables selon les matériaux dont ils sont issus. Pour cette raison, il faut se référer aux valeurs mentionnées sur le bulletin de livraison du produit.

Caractéristiques	Digestat liquide (IMI)[1]	Digestat solide (IMI)[1]	Compost[2]
	kg par t matière fraîche **médiane** (min.-max.)		
Matière sèche (MS)	**130** (50 – 230)	**490** (290 – 820)	**510** (220 – 930)
Matière organique (MO)	**61** (47 – 77)	**235** (44 – 368)	**214** (46 – 480)
N_{tot}	**4** (2 – 8)	**6** (2 – 14)	**7** (2 – 15)
P_2O_5	**2** (1 – 4)	**3** (1 – 8)	**3** (1 – 15)
K_2O	**4** (1 – 8)	**5** (2 – 15)	**5** (2 – 17)
Mg	**1** (0.5 – 2)	**3** (1 – 7)	**3** (0.5 – 10)
Ca	**5** (3 – 11)	**25** (11 – 80)	**25** (7 – 28)
Salinité (mS/cm)[3]	**12** (7 – 30)	**3** (0.6 – 8)	**3** (0.6 – 8)

Source: DBF (2009) Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages (DBF), février 2009.

[1] Installations de méthanisation industrielles (la base de données étant actuellement beaucoup trop restreinte pour les digestats issus d'installations de méthanisation agricoles).
[2] Compost de déchets organiques de ménage et de jardin. Médiane des valeurs provenant de différentes préparations (composts frais/mûrs, composts faits au champ, etc.). Poids volumique: 500-800 kg/m³.
[3] Salinité < 1: faible, pas de dégâts aux plantes;
1-2: normale, pas de dégâts aux plantes;
2-4: légère à moyenne, dégâts éventuels sur plantes sensibles;
> 4 élevée, dégâts sur de nombreuses plantes.
Lorsque la salinité est supérieure à 2 mS/cm, il est recommandé de ne pas appliquer le produit sur de jeunes cultures potentiellement sensibles (par exemple: maïs, pomme de terre, haricot, pois, trèfle violet, tabac).

Critères de qualité

Les produits livrés doivent respecter des exigences de qualité garanties par analyses périodiques. Les paramètres considérés sont les corps étrangers, les polluants, l'hygiène, le degré de stabilité et de maturité. Le tableau suivant résume les critères clés de qualité par produit.

Critères	Digestat liquide	Digestat solide	Compost
Eléments nutritifs (P_2O_5, K_2O, Mg, Ca)	X	X	X
Décomposition			Intrants non reconnaissables, à l'exception du bois
Matière sèche (MS)	X	X	X
Matière organique (MO)	X	X	X
pH	X	X	X
Granulométrie		X	X
Poids spécifique	X	X	X
Salinité	X	X	X
Azote total (N)	X	X	X
Rapport C/N	X	X	X
Ammonium ($N – NH_4$)	> 3 g/kg MS	> 600 mg/kg MS	< 600 mg/kg MS
Nitrate ($N – NO_3$)			X
Nitrite ($N – NO_2$)			(X)
$N_{min.}$	> 3 g/kg MS	> 600 mg/kg MS	< 600 mg/kg MS

X: doit être indiqué (X): données recommandées (pour caractériser le produit)

Restrictions légales pour l'épandage d'engrais de recyclage

La calculation de la quantité se base sur les besoins en P de la culture, de l'efficacité du produit, de l'arrière-effet d'apports antérieurs et des teneurs du sol (Bilan de fumure, méthode Suisse-Bilanz).

	Compost	**Digestat solide**	**Digestat liquide**
Epandage autorisé (ORRChim, Annexe 2.6, art. 3.2.2, al. 1)			
en 3 ans	25 t MS/ha (environ 80-90 m^3)		200 m^3/ha
en 10 ans	100 t MS/ha		
Bilan de fumure : % de la teneur totale doit être pris en compte (OPD, Chap. 3, Annexe, Art. 2.1)			
N	10 % dans l'année d'épandage		50 % dans l'année d'épandage
P_2O_5	100 %, peut être réparti sur 3 années au maximum		

Compost : 40-60 m^3/ha sont suffisants pour les sols normalement pourvus en éléments nutritifs.

L'utilisation est **interdite** (ORRChim 2005, Annexe 2.6, Art. 3.3.1) :
- dans la zone S1 des zones de protection d'eaux souterraines (zones de captage) ;
- dans les zones protégées, surfaces non fertilisables de compensation écologique ;
- dans les roselières, marais et en forêt ;
- dans les haies, les bosquets et aux abords des eaux superficielles (y compris une bande de 3 m de large de chaque côté).

Stratégie d'utilisation

Source : Directive suisse 2010 de la branche sur la qualité du compost et du digestat.

Digestats

	Digestat liquide	**Digestat solide**
Epoque	**Pas d'épandage pendant les mois d'hiver**	
Cultures d'automne	• Durant la phase de croissance maximale des plantes. • Ne pas épandre > 30 m^3/ha à la fois, afin d'exploiter au mieux la teneur élevée en nutriments.	Juillet - octobre : avant le semis
Cultures de printemps		Février - mars : avant le semis/sur la culture
Prairies temporaires		Printemps - été : avant le semis
Herbages		En tout temps, de préférence après une coupe.
Techniques	Rampes pendillards/à socs Enfouisseurs Avec sarclage simultané	Epandeur à assiettes : bonne répartition ; Hérisson à fraise : répartition insatisfaisante
Etat du sol	Capable d'absorber (éviter les pertes d'azote)	Portant
Conditions optimales	Le soir, par temps calme et humide	Par temps humide
Incorporation	En présence de couche de paille hachée, mulch ou résidus végétaux : déchaumage avec injection simultanée ou travailler d'abord la surface avec un cultivateur.	En surface (< 10 cm de profond)

Facteurs à considérer

Dans la rotation, épandre l'année précédant des cultures sarclées.
Les risques liés à l'utilisation de digestats peuvent être réduits par les mesures suivantes :

Pertes ammoniacales	• quantités : respecter le bilan de fumure ; • techniques d'application judicieuses : pendillards, enfouisseur à lisier ; • stockage : diminuer les surfaces sales, couvrir les fosses à purin ; • dilution : diluer le digestat liquide avec de l'eau avant épandage.
Blocage de l'azote	• ne pas épandre un digestat desséché.
Détérioration de la structure du sol	• apporter < 50 m^3/ha de digestat liquide dans un sol léger, peu tamponné.

Compost

Epoque		Remarques
Cultures d'automne	Juillet - octobre : avant le semis	
Cultures de printemps	Février - mars : avant le semis, sur la culture	sur sol légèrement gelé (non enneigé) et sec
Cultures dérobées	Eté : avant semis, après la récolte	
Prairies temporaires	Printemps - été : avant semis	
Herbages	En tout temps, de préférence après une coupe.	N'épandre que du compost tamisé
Techniques	Epandeur à assiettes : bonne répartition ; Hérisson à fraise : répartition insatisfaisante	
Incorporation	En surface (< 10 cm, sols légers : 15 – 20 cm de profond)	

Facteurs à considérer

- Application : préférable en été, après la moisson ; ou en hiver sur un sol gelé sur moins de 2 cm.
- Choisir un **compost adapté** à l'usage qui en sera fait : effet structurant > fertilisant → riche en lignine.
- Contrôler la **teneur en azote minéral** du sol : correction azotée de 10 N/ha le cas échéant.
- Le **risque de blocage de l'azote** peut être réduit par les mesures suivantes :
  – utiliser des composts bien mûrs, pauvres en bois ;
  – éviter d'appliquer au printemps, car le sol est encore froid et peu actif.

Adresses utiles

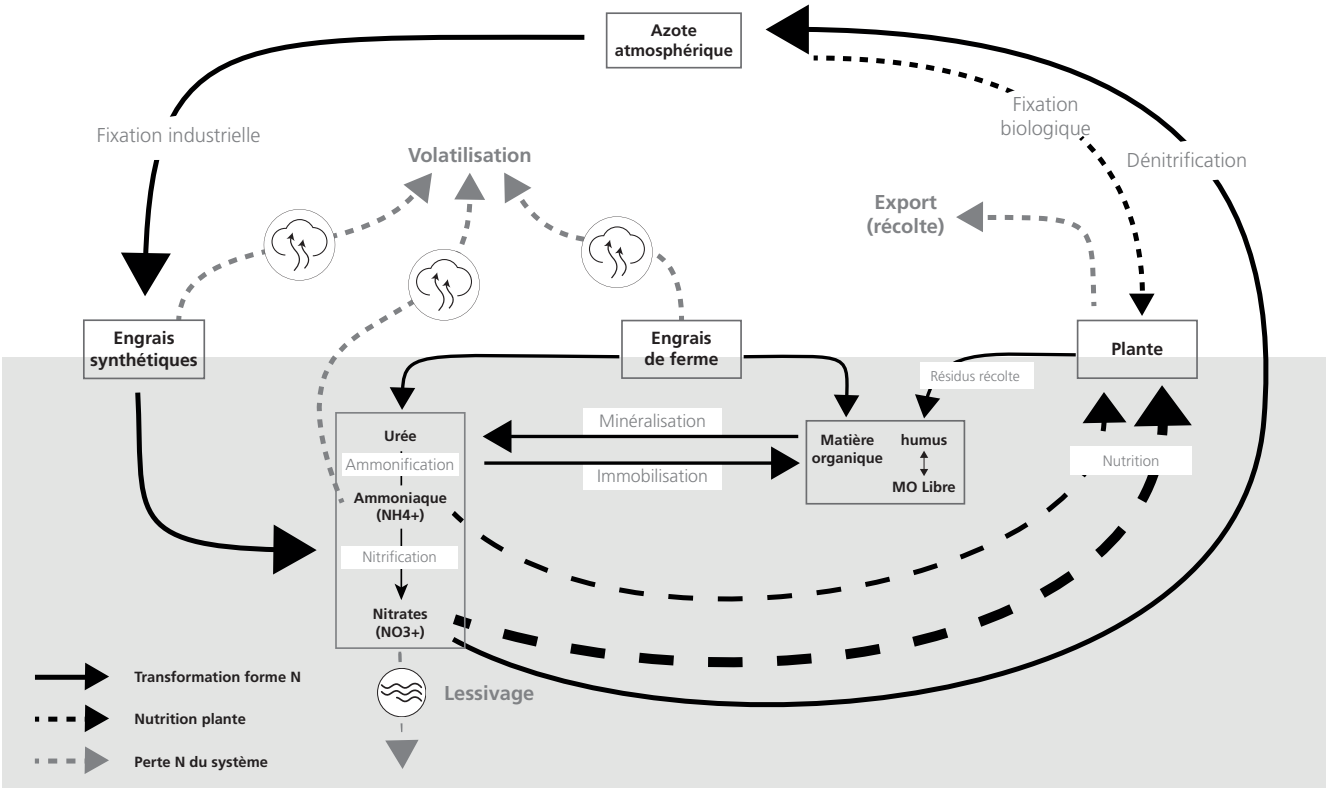
	Adresse	**Lien**	**Services**
VKS-ASIC Association Suisse des installations de Compostage et de Méthanisation et Inspectorat suisse du compostage et de la méthanisation	Secrétariat romand : Adrian Ramseyer Grand-Rue 107, CP 66 2720 Tramelan Tel 032 487 35 50 Fax 032 487 35 54	www.vks-asic.ch info@vks-asic.ch	• formation • contrôle • directives de qualité
Biophyt ag	Dr. Jacques G. Fuchs Schulstrasse 13 CH-5465 Mellikon Tel: 056 250 50 42 Fax: 056 250 50 44	www.biophyt.ch	• conseil • formation • analyses • expertises • développement
Kompostforum Schweiz	Paul Pfaffen Zypressenstrasse 76 8004 Zürich Tel. 043 205 28 82 Fax 043 205 28 81	www.kompost.ch	

Principe de base de la fumure et cycle de l'azote

Une fumure efficace doit être précisément appliquée afin de maximiser les effets positifs pour répondre aux besoins des plantes, tout en limitant les potentiels risques de perte. Il faut notamment tenir compte des points suivants :

- Fractionnement adéquat durant la période de végétation.
- Épandage précis avec matériel bien réglé.
- Forme d'engrais appropriée aux besoins en nutriment de la culture en croissance.
- Tenir compte de la météo pour limiter les risques de mauvaise assimilation et de perte d'engrais par lessivage ou évaporation.

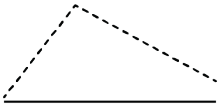
Cycle de l'azote en agriculture et risques de pertes

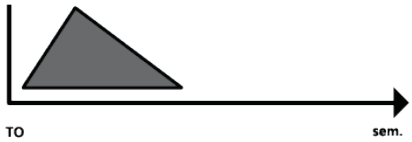
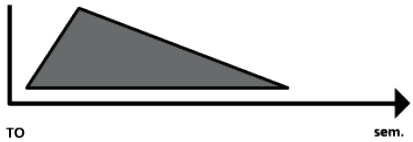
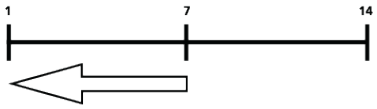
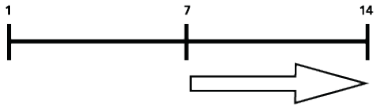


Adapté des PRIF 2017, Agroscope

Descriptif des symboles

Le tableau ci-dessous récapitule les différentes formes simples et composées d'engrais. Les caractéristiques sont décrites au moyen des symboles suivants :

Caractéristique	Symbole	Explication / Remarques
Type engrais		Engrais minéral. Permet une meilleure maîtrise de la nutrition des plantes.
		Engrais organique. Processus de minéralisation dans le sol dépendants de nombreux facteurs non contrôlables. Le temps pour le processus de transformation est dépendant de la température et de l'humidité du sol. Disponibilité tardive et incertaine, potentiellement après les besoins de la culture, entraînant un risque de lessivage en contre-saison.

Disponibilité de l'engrais		Disponibilité immédiate. L'apport de l'engrais est fait au temps 0 (T0). L'engrais est disponible durant un court laps de temps. Par exemple, le nitrate est disponible directement pour les plantes.
		Disponibilité immédiate et prolongée. Par exemple, le nitrate d'ammoniaque est composé d'une partie directement disponible pour les plantes (nitrate) et d'une partie qui doit être transformée pour être disponible pour les plantes (ammoniaque). Un retardateur permet de prolonger d'avantage la disponibilité en azote pour les plantes et ralentir la transformation de l'azote comme pour le Entec par exemple.
		Disponibilité moyennement rapide. Par exemple, le sulfate d'ammoniaque ne contient pas de forme d'azote directement assimilable par les plantes. L'ammoniaque doit être transformée en nitrate pour être pleinement disponible pour les plantes.
		Disponibilité lente. Par exemple, lors de l'application d'urée, l'azote doit passer par les processus d'ammonification et de nitrification, avant d'être disponible pour les cultures.
Risque de perte		Pertes par lessivage. Concerne par exemple le nitrate ou le potassium dans les sols légers (sous forme de sel de potassium). Le risque peut être élevé ou faible.
		Pertes par évaporation. Concerne par exemple l'azote sous forme d'ammoniaque. Le risque peut être élevé ou faible.
Effet sur PH du sol		Effet acidifiant
		Effet neutre
		Effet alcalinisant

Elément		Forme	Produit (exemple)	Caractéristiques			Autres possibles éléments combinés	Recommandations
				Disponibilité	Risque	Effet sur le PH du sol		
N		Nitrate d'ammoniaque	Nitrate d'ammoniaque (diverses, avec ou sans Mg et ou S)	TO sem.		1 7 14	**Mg, S**	• Adapter la dose et le moment d'application aux possibilités de prélèvement par les plantes. • Par temps sec prolongé, enfouir légèrement pour limiter la volatilisation.
N		Nitrate d'ammoniaque avec retardateur	Entec (26% + S13%)	TO sem.		1 7 14	**S**	• Adapter la dose et le moment d'application aux possibilités de prélèvement par les plantes. • Par temps sec prolongé, enfouir légèrement pour limiter la volatilisation.
N		Sulfate d'ammoniaque	Sulfate d'ammoniaque (diverses)	TO sem.		1 7 14	**S**	Adapter la dose et le moment d'application aux possibilités de prélèvement par les plantes.
N		Cyanamide	Cyanamide Perkla	TO sem.		1 7 14	**Ca**	Par temps sec prolongé, enfouir légèrement pour limiter la volatilisation.
N		Urée	Urée (diverses)	TO sem.				• En sol neutre et calcaire, enfouir superficiellement. • En production fourragère, éviter les apports lorsqu'il fait beau et chaud.
N		Organique	Engrais de ferme	TO ? sem.		1 7 14	**P, K, Mg, Ca**	• Apporter régulièrement des doses modérées. • Eviter la jachère durant la période de végétation (une minéralisation non contrôlée augmente les risques de pertes par lessivage). • Minéralisation tardive possible. • Une couverture du sol est recommandée après la culture pour limiter les pertes.
p	Alcain **Sol** Acide	Superphosphate	Super triple	TO sem.		1 7 14	**C**	• Utilisation régulière dans les sols neutres et alcalins. • Utilisation occasionnelle dans les sols acides.
p	Alcain **Sol** Acide	Phosphate bicalcique	Granuphos, Calcophos	TO sem.		1 7 14	**Mg, S, Ca**	Utilisation jusqu'à pH 6,6 en sol pauvre en P et pH 7,5 en sol normalement pourvu en P.

Elément	Forme	Produit (exemple)	Caractéristiques			Autres possibles éléments combinés	Recommandations
			Disponibilité	Risque	Effet sur le PH du sol		
K	Chlorure de potassium	Sel de potasse (40 % Korn-Kali, 60%)				**Cl (40-50%), Mg (pour le Korn-Kali)**	• Pour les cultures sensibles au chlore, réduire la dose et épandre quelques semaines avant l'implantation de la culture principale
	Sulfate de potassium	Sulfate de potasse	TO sem.		1 7 14	**S**	• A utiliser dans les cultures sensibles au chlore. • A utiliser dans les cultures nécessitant des apports de soufre. • A utiliser dans les cultures préférant un milieu acide.
	Potasse magnésienne	Patent-Kali 30%				**Mg, S**	• A utiliser dans les cultures sensibles au chlore.
Mg	Sulfate de magnésium	Kiesérit	TO sem.		1 7 14	**S**	• A utiliser en cas de carence en magnésium (foliaire avec sulfate de Mg hydraté, au sol avec du sulfate dans les sols légers). • Epandre au printemps.
	Carbonate de magnésium	Granumag	TO sem.		1 7 14	**S, Carbonate**	• A utiliser pour prévenir les carences dans les sols acides. • Fertilisation d'entretien dans les sols neutres, faiblement acides et acides.

Le préalable de toute analyse de sol est bien entendu la constitution de l'échantillon sur lequel elle portera

Cette opération est déterminante, car elle va conditionner les résultats à la fois dans leurs précisions et leurs représentativités spatiales. L'adéquation des conseils de fumure à la parcelle dépend donc en premier lieu de l'échantillonnage du sol.

Quand prélever ?

- Entre la récolte et le travail du sol pour la nouvelle culture.
- Il faut attendre :
  - 2 mois après un apport d'engrais pour les prairies et 4 mois après un apport de fumier sur cultures;
  - 4 mois après un amendement calcique ou organique.
- L'apport d'engrais azotés simples n'est pas un obstacle aux prélèvements dans le cas d'une analyse complète.

Fréquences des analyses

- Pour contrôler l'état de fertilité du sol, tous les 4 à 5 ans, si possible après la même culture.
- Pour un suivi du niveau de fertilité, tous les 5 à 10 ans, si possible après la même culture.

Tarière hollandaise

Où prélever ?

Choisir une zone homogène de la parcelle et de la culture en évitant :

- les bordures (bois, haies) et les zones récemment pâturées;
- les abords des cours d'eau, mouillères;
- les anciens chemins, anciennes haies, remblais;
- les zones carencées.

Avec quoi ?

Une tarière ou une bêche.

Comment prélever ?

- Choisir des endroits bien repérables (coordonnées rectangulaires, GPS, Lieudit).
- Effectuer 12 à 15 prélèvements par parcelle.
- Ces prélèvements doivent être répartis régulièrement (en ligne ou en diagonale).
- Mélanger ces prélèvements et constituer un échantillon (ne jamais mélanger des types de sol différents).

Profondeur

- Enlever la couche superficielle du sol (0 à 2 cm) pour éviter toute cause de pollution.
- Profondeur de prélèvement :
  - pairies naturelles : 2 à 10 cm;
  - grandes cultures : 2 à 20 cm;
  - cultures maraîchères en pleine terre : 2 à 20 cm.

Bêches

Quantité

- Mélanger les 12 à 15 prélèvements.
- Prendre 1 kg de mélange pour un échantillon.

Envoi

- Dans des sacs en plastique propres avec les indications pour l'identification de la parcelle (nom et n°); l'échantillon doit être accompagné d'une demande d'analyse correctement remplie.
- Les sacs en plastique et les demandes sont disponibles auprès de **Sol-Conseil**①, **Grange-Verney**② ou **Lullier**③.

Délai d'analyse

De 2 à 4 semaines dès réception de l'échantillon.

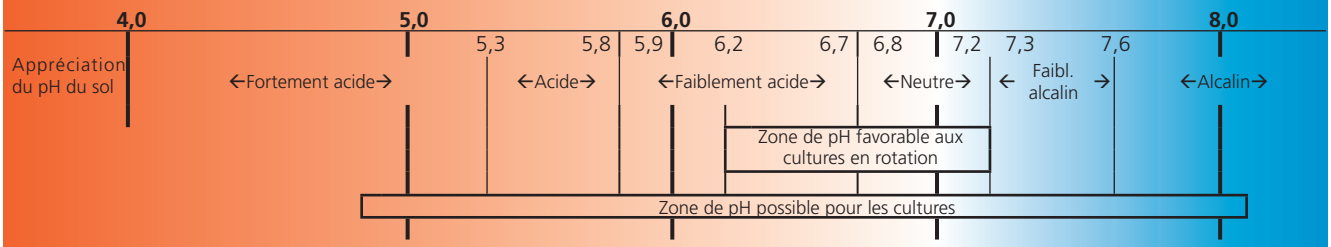
① Sol-Conseil, Changins, CP 1381, 1260 Nyon 1; www.sol-conseil.ch

② Agrilogie Grange-Verney, Laboratoire, 1510 Moudon; www.agrilogie.ch

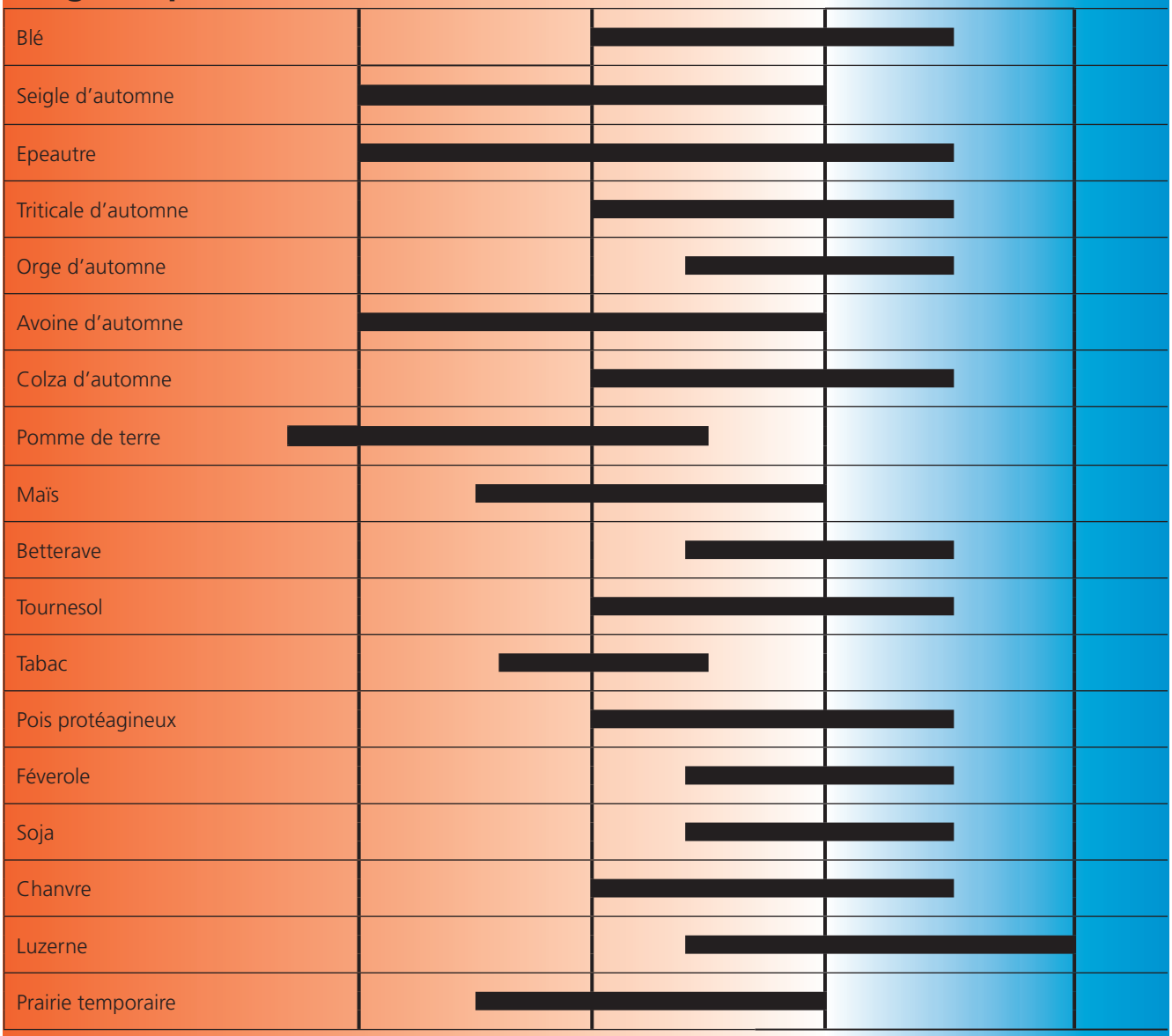
③ Laboratoire sols et substrats, Ecole d'Ingénieurs de Lullier, Rte de Presinge 150, 1254 Jussy; www.hesge.ch/eil

pH du sol

Le pH est une mesure du niveau d'acidité du sol.



Plage de prédilection des cultures



pH optimal selon le type de sol

D'après fiche technique 1.02

- Sols (fortement) alcalins : ne nécessitent pas d'entretien calcique.
- Sols avec légère tendance à l'acidification : utilisation d'engrais alcalinisant ou chaulage d'entretien dans la rotation.
- Sols à forte tendance à l'acidification : chaulage nécessaire.

Processus d'acidification des sols cultivés

Les sols ont une tendance naturelle à l'acidification :
- lessivage du calcium;
- activité microbienne (production d'acides organiques);
- prélèvement d'éléments basiques (Ca, Mg, K, etc.) par les plantes.

Cette acidification est renforcée ou neutralisée par l'utilisation de certains engrais du commerce, selon la formule :
E (kg CaO) =1 x CaO + 1,4 x MgO + 0,6 x K_2O + 0,9 x Na_2O - 0,4 x P_2O_5 - 0,7 x SO_3 - 0,8 x Cl – n x N
(n = 0,8 pour une prairie et 1 pour une grande culture).

Elément	Equivalent en CaO		Effet	Coefficients de conversion des éléments fertilisants					Exemple pour un engrais scorie potassique (0% N, 12% P_2O_5, 11% K_2O, 2,4% Mg et 21% Ca)		
	Quantité	Signe		Elément forme déclarée	x	Coefficient de conversion	=	Forme néces-saire pour l'équation	Quantité	Valeur neutralisante en kg CaO pour 100 kg	
CaO	1,0	+	Alcalinisant	Ca	x	1,4	=	CaO	21 Ca = 29,4 CaO	+	29,4
MgO	1,4	+	Alcalinisant	Mg	x	1,66	=	MgO	2,4 Mg = 3,8 MgO	+	5,3
Na_2O	0,9	+	Alcalinisant	Na	x	1,35	=	Na_2O	-		-
K_2O	0,6	+	Alcalinisant	K_2O sous forme sulfate	x	0,46	=	SO_3	11 K_2O	+	6,6
Cl	0,8	-	Acidifiant	K_2O sous forme de chlorure	x	0,75	=	Cl	11 K_2O = 8,3 Cl	-	6,6
SO_3	0,7	-	Acidifiant	S	x	2,5	=	SO_3	-		-
P_2O_5	0,4	-	Acidifiant	-		-		-	12 P_2O_5	-	4,8
N	1,0	-	Acidifiant	-		-		-	-		-
									Total	**+**	**29,9**

Source : Revue UFA 10/99.

Objectifs du chaulage

Les objectifs du chaulage sont :
- Corriger le pH d'un sol dont l'acidité n'est plus propice aux cultures de la rotation ou aux prairies.
- Améliorer la structure et la stabilité d'un sol sensible aux dégradations physiques :
  - diminuer sa battance;
  - améliorer sa résistance à l'érosion;
  - améliorer ou entretenir sa porosité.
- Améliorer l'activité biologique du sol.

Critères de décision pour le chaulage

Il est nécessaire d'envisager un chaulage lorsque l'un des symptômes suivants apparaît :
- Les plantes cultivées présentent des symptômes liés à une trop forte acidité (l'orge dépérit principalement sur les zones de terres les plus légères).
- Les phénomènes de battance sont chroniques.
- Le pH est inférieur à 6,5 ou selon le pH optimum en fonction du type de sol.

Limites et contre-indications

Le chaulage peut occasionner des effets secondaires. Il faut respecter les consignes suivantes :
- Chaulage déconseillé durant les 12 mois qui précèdent une culture de pommes de terre (risque de gale).
- Pas de chaulage avant une culture de tabac.
- En cas de chaulage avant betterave (très favorable à la levée de la betterave), application d'un engrais boriqué foliaire en végétation sur la culture.
- Ne pas chauler sur du fumier ou du lisier; ne pas épandre des engrais de ferme sur de la chaux, car cela déclenche une réaction chimique qui volatilise l'azote ammoniacal des engrais de ferme.

Quand chauler ?

- Terres ouvertes : avant la mise en culture ou sur les chaumes.
- Prairies de fauches : entre les coupes ou en fin de saison.
- Pâturages : en fin de saison de pâture.

- Toujours chauler sur sol ressuyé afin d'éviter le tassement.

Avec quel produit ?

Plusieurs types d'amendements calcaires existent dans le commerce. Leurs prix varient entre Fr. 2,70 et Fr. 45.- les 100 kg.

Produit	**Teneur en CaO** (%)	**Teneur en Mg** (%)	**Prix** en Fr./t de produit	**Prix** pour un apport de 2 t CaO	**Remarques**
Chaux d'Aarberg	32	6	26	160	• Sous-produit de l'extraction du sucre de betterave. • Contient du phosphore. • Semoir à chaux ou épandeuse à disque nécessaire.
Chaux de gravière	18	0	25	280	• Sous-produit des gravières. • Epandage inclus dans le prix (machines spéciales).
Chaux humide	48	0	150	540	• Peut être obtenue granulée ou en poudre.
Chaux d'Omya	55	0	150	550	
Chaux de la Sarraz	53	0	150	570	
Agro-Kalc	55	0	170	620	
Chaux filler (Précichaux)	54	0	172	640	• Epandage inclus dans le prix (machines spéciales).
Oxyfertil 94	94	0	310	660	
Brinocal	54	0	180	670	• Epandage inclus dans le prix (machines spéciales).
Optiflor 55/35	55	110	270	980	• Contient du magnésium.
Optiflor 80/10	52	30	260	1'000	• Contient du magnésium.
Chaux vive magnésienne	60	15	395	1'320	• Contient du magnésium.
Chaux granulée 80/10	45	30	260	1'490	• Contient du magnésium.
Dolomie 55/35	31	110	300	2'160	• Contient du magnésium.
Physiomax	39	3	450	2'310	• Contient du magnésium.

Bien que la Chaux d'Aarberg offre le meilleur rapport qualité-prix, l'utilisation d'autres produits reste intéressante dans certaines circonstances, notamment lorsque le chaulage ne peut pas être réalisé par du matériel lourd, dans des pentes par exemple, ou lorsque l'on cherche à apporter des quantités importantes de magnésium. Dans ce cas, on choisira un amendement calcaire riche en Mg.

L'effet chaulant (capacité de relever le pH du sol) est alors obtenu par l'addition de la teneur en équivalent CaO et de la teneur en équivalent MgO multipliée par 1,4 (pour tenir compte de la différence de poids moléculaire entre ces 2 composés).

Exemple : la valeur neutralisante en CaO pour 100 kg de chaux d'Aarberg s'élève à 40,4 (32 + 6 x 1,4).

Quelle quantité apporter ?

L'appréciation grossière de la dose d'amendement basique calcique à appliquer dépend du pH, du taux d'argile du sol et du type d'utilisation.

Taux d'argile, taux d'humus	**$pH_{(H2O)}$** du sol	**Chaulage de correction** ❶		**Chaulage d'entretien**
		Dose de CaO (dt/ha)		**Dose** de CaO (dt/ha) tous les 4-5 ans
		Terre assolée et prairie temporaire	**Prairie permanente**	**Prairie permanente**
< 10 % d'argile	< 5,3 5,3 - 5,8 5,9 - 6,2 > 6,2	20 15 10 0	10 7,5❷ 5❷ 0	- 5 - 7❸ 5 - 7❸ -
10 - 30 % d'argile	< 5,3 5,3 - 5,8 5,9 - 6,2 > 6,2	30 25 20 0	15 12,5❷ 10❷ 0	- 8 - 10❸ 8 - 10❸ -
> 30 % d'argile	< 5,3 5,3 - 5,8 5,9 - 6,7 > 6,7	35 30 25 0	20 17,5❷ 15❷ 0	- 9 - 12❸ 9 - 12❸ -
> 10 % d'humus	-	0	0	-

Source : Données de Base pour la Fumure (DBF), Revue suisse Agric. 41 (1), 2009.

❶ En culture fourragère, il faut tenir compte de la composition botanique et du site.

❷ En général, un chaulage d'entretien suffit tous les quatre à cinq ans.

❸ Un chaulage d'entretien est conseillé si une acidification progressive du sol est observée.

Exemple : *Un sol (terre assolée) à 32 % d'argile et avec un pH de 5,2 est chaulé avec de la chaux d'Aarberg.*
Dose de CaO selon tableaux : 3,5 t/ha. Teneur en équivalent CaO de la chaux d'Aarberg 32 %.
Apport de chaux d'Aarberg : 3,5 t/ha x 100 / 32 = 10,9 t/ha.

- Un surchaulage (apports trop importants de CaO) risque de bloquer certains éléments et de provoquer des carences.
- Si apport > 2 t CaO, apporter cette quantité en 2 ou 3 apports sur deux à quatre ans.
- La quantité peut également être calculée sur la base d'une analyse de la capacité d'échange des cations du sol (CEC). *Voir* Données de Base pour la Fumure (DBF), Revue suisse Agric. 41 (1), 2009.
- Dans la pratique, on remarque que les doses appliquées sont parfois beaucoup plus importantes que celles préconisées par cette méthode de calcul, sans que des effets néfastes ne soient observés. Ainsi on constate qu'un apport de chaux d'Aarberg, compris entre 5 et 10 t/ha, est une pratique usuelle simplifiée et efficace en sol acide et lourd.