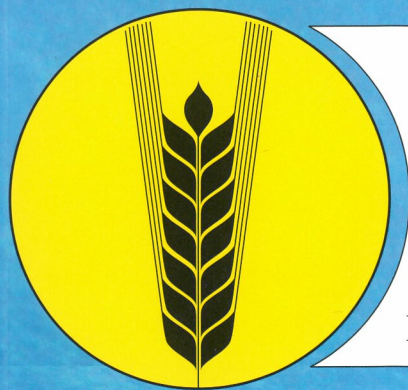




Revue suisse

Janvier-Février 2009 – Vol. 41 – N° 1

d'agriculture

Prix: 20.-

Publiée par les Stations de recherche Agroscope, par Agridea et avec l'appui d'Agora



DBF-GCH 2009
Données de base pour la fumure
des grandes cultures et des herbages

Préface

Les «Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages» (DBF-GCH), publiées par les stations de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW et Reckenholz-Tänikon ART, sont un outil confirmé et précieux pour produire des denrées alimentaires et du fourrage de haute qualité, tout en respectant l'environnement. Ce document est utilisé prioritairement par les conseillers agricoles. Il représente pour les agriculteurs un outil d'aide à la décision important pour la planification et l'évaluation de la fumure. Ces travaux contribuent à utiliser efficacement le facteur de production «engrais» et par conséquent à produire de manière performante. Leur contenu représente également des données de base pour des outils d'exécution de la Confédération et des cantons, comme le Suisse-Bilanz.

Les DBF-GCH sont issues des principes des sciences naturelles et représentent l'état le plus récent des connaissances de la recherche dans le domaine de la fumure. Elles sont régulièrement actualisées pour intégrer les techniques de production les plus actuelles ainsi que les nouveaux développements de l'agriculture et de la recherche. Cette nouvelle édition 2009 remplace celle de 2001. Son élaboration est le fruit de plusieurs années de travail et d'une collaboration intensive entre les différents groupes de recherche d'Agroscope. Par exemple, des essais de fumure ont été conduits pendant trois ans sur des sites variés répartis dans toute la Suisse pour vérifier et actualiser, si nécessaire, les normes de fumure pour l'azote des principales grandes cultures.

Les principales modifications de la nouvelle version sont une flexibilisation de la norme de fumure azotée de quelques grandes cultures, la mise en évidence des limites d'utilisation de la méthode d'analyse de sol «acétate d'ammonium + EDTA», un nouveau chapitre décrivant l'influence de la fumure sur la qualité des produits, l'actualisation des prélèvements d'éléments nutritifs par les grandes cultures sur la base des essais de longue durée des stations, une adaptation des schémas d'interprétation pour les analyses de sol conforme à la production et à l'écologie, et une clarification des concepts de fumure.

Je remercie l'équipe rédactionnelle de cette nouvelle version pour la coordination des travaux préparatoires professionnels et de synthèse, ainsi que pour la rédaction du manuscrit. Mes remerciements s'adressent également aux co-auteurs des différents chapitres; parmi ceux-ci se trouvent de nombreuses collaboratrices et collaborateurs des stations de recherche d'Agroscope ainsi que de la Haute Ecole d'Agriculture. Je remercie aussi les partenaires de la production, du commerce et de l'industrie, qui ont suivi avec un intérêt critique la nouvelle édition des DBF. J'adresse à tous les utilisateurs de ce document mes remerciements pour leur contribution précieuse dans le cadre des ateliers de travail et des procédures de soumission.

Je suis sûr que la nouvelle édition des DBF sera bien acceptée par la pratique, la vulgarisation, l'industrie des engrais, l'administration, la formation et la recherche. Elle contribuera à de nouveaux progrès en faveur d'une production de grandes cultures et d'herbages respectueuse de l'environnement et économiquement concurrentielle.

Manfred Bötsch
Président de la direction d'Agroscope

Publié par: les Stations de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW
et Agroscope Reckenholz-Tänikon ART

Rédaction: Sokrat Sinaj, ACW – Walter Richner, ART – René Flisch, ART – Raphaël Charles, ACW

Contributions: Alice Baux, ACW – Jean-François Collaud, ACW – Elisabeth Fortier, ACW –
Lilia Levy, ACW – Didier Pellet, ACW – Ruedi Schwärzel, ACW –
Hans Dieter Hess, Station de recherche Agroscope Liebefeld-Posieux ALP –
Christine Bosshard, ART – Olivier Huguenin, ART – Jochen Mayer, ART –
Gerd Joachim Sauter, ART – Ludo van Caenegem, ART – Hans Stünzi, ART –
Harald Menzi, Haute école suisse d'agronomie (HESA), 3052 Zollikofen

Table des matières

Page

1	Introduction	4
2	Buts et principes d'une fumure dirigée	4
3	Normes de fumure	6
3.1	Grandes cultures	7
3.2	Correction de la norme de fumure P, K, Mg en fonction de la capacité d'absorption des différentes cultures et du rendement	12
3.3	Herbages	14
4	Analyses de sol et interprétation des résultats	19
5	Analyses de plantes	23
6	Fumure phosphatée, potassique et magnésienne	24
6.1	Correction de la fumure phosphatée et potassique basée sur la méthode CO_2	25
6.2	Correction de la fumure magnésienne basée sur la méthode CaCl_2	28
6.3	Correction de la fumure phosphatée, potassique et magnésienne basée sur l'extrait à l'acétate d'ammonium + EDTA (AAE10)	28
6.4	Remarques particulières concernant l'utilisation d'engrais phosphatés, potassiques et magnésiens	31
7	Fumure azotée	32
7.1	Grandes cultures	33
7.1.1	Correction de la fumure azotée en fonction du rendement	35
7.1.2	Méthode des normes corrigées (méthode par estimation)	36
7.1.3	Méthode fondée sur la mesure de l'azote minéral dans le sol (méthode N_{min})	38
7.1.4	Méthodes de pilotage de la fumure	40
7.1.5	Fractionnement des apports azotés	40
7.2	Herbages	42
8	Entretien calcique du sol	44
8.1	Grandes cultures	46
8.2	Herbages	46
9	Soufre et oligo-éléments	47
9.1	Soufre	47
9.1.1	Marche à suivre pour déterminer le risque de carence en soufre	47
9.1.2	Forme et moment d'application de la fumure soufrée	48
9.2	Bore, manganèse et autres	48
10	Résidus de récolte	49
11	Engrais de ferme	50
11.1	Production et teneurs en éléments nutritifs	51
11.1.1	Déjection d'éléments fertilisants par les animaux de rente	51
11.1.2	Production de lisier/purin et de fumier	55
11.1.3	Teneurs en éléments fertilisants des engrais de ferme	57
11.1.4	Préparation des engrais de ferme	58
11.1.5	Disponibilité de l'azote des engrais de ferme	59
11.2	Utilisation des engrais de ferme	60
11.2.1	Moment d'application du lisier/purin et du fumier	60
11.2.2	Critères pour définir le dosage des engrais de ferme	60

12	Engrais de recyclage	62
12.1	Teneurs en éléments nutritifs dans les engrais de recyclage	62
12.2	Indications pour l'utilisation des digestats	62
12.3	Restrictions légales à l'épandage d'engrais de recyclage	64
13	Nutrition des plantes en culture biologique	64
13.1	Fertilisation azotée	64
13.2	Fumure phospho-potassique	65
14	Fumure et environnement	66
14.1	La fumure fait partie du cycle des éléments nutritifs	67
14.2	Aptitude potentielle des engrais à s'intégrer dans une fumure dirigée, économique et respectueuse de l'environnement	67
14.3	Dispositions contre les pertes en éléments fertilisants	69
14.3.1	Percolation et lixiviation	69
14.3.2	Entraînement par ruissellement	69
14.3.3	Volatilisation de l'ammoniac	70
14.4	Conséquences d'une surfumure	71
14.5	Substances dangereuses et agents pathogènes	71
14.6	Résumé des recommandations pour une fumure ménageant l'environnement	71
15	Fumure et qualité des produits	72
15.1	Céréales	73
15.1.1	Influence de la fumure azotée sur la qualité des blés panifiables	73
15.1.2	Influence de la fumure azotée sur la qualité des blés biscuitiers	73
15.1.3	Influence de la fumure azotée sur la qualité des céréales fourragères	74
15.2	Cultures oléagineuses	74
15.2.1	Influence de la fumure azotée et soufrée sur la richesse en huile et sa composition	74
15.2.2	Influence de la fumure soufrée sur la concentration en glucosinolates	75
15.3	Pomme de terre	75
15.4	Betterave à sucre	76
16	Pratique de la fumure	77
16.1	Plan de fumure	77
16.2	Possibilités de réduction de la fumure N et d'impasse sur la fumure P, K et Mg	78
16.3	Choix des engrais	80
16.4	Fumure de rotation	80
16.5	Possibilités et limites de différentes méthodes de bilan des éléments fertilisants	80
17	Technique d'épandage des engrais minéraux, des engrais de ferme et des engrais à base de déchets recyclés	81
18	Littérature	86
19	Annexes	88
19.1	Caractéristiques des différentes formes des éléments fertilisants et des engrais	88
19.2	Teneurs en éléments nutritifs fertilisants dans les produits d'origine végétale ou animale	90
19.3	Table de conversion	94
19.4	Lois et ordonnances concernant la commercialisation et l'utilisation des engrais	96

1. Introduction

Les données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages sont régulièrement révisées. Il est ainsi possible de prendre en compte des résultats d'essais récents, des changements liés aux expériences pratiques et la nécessité de réactualiser certaines données. Les résultats d'essais et de recherches antérieures ont également été réévalués de manière critique afin de consolider les données de base.

Ce document est d'abord destiné aux services de vulgarisation agricole, aux enseignants d'écoles d'agriculture, mais il constitue aussi un outil indispensable d'aide à la décision en matière de fertilisation pour les agriculteurs.

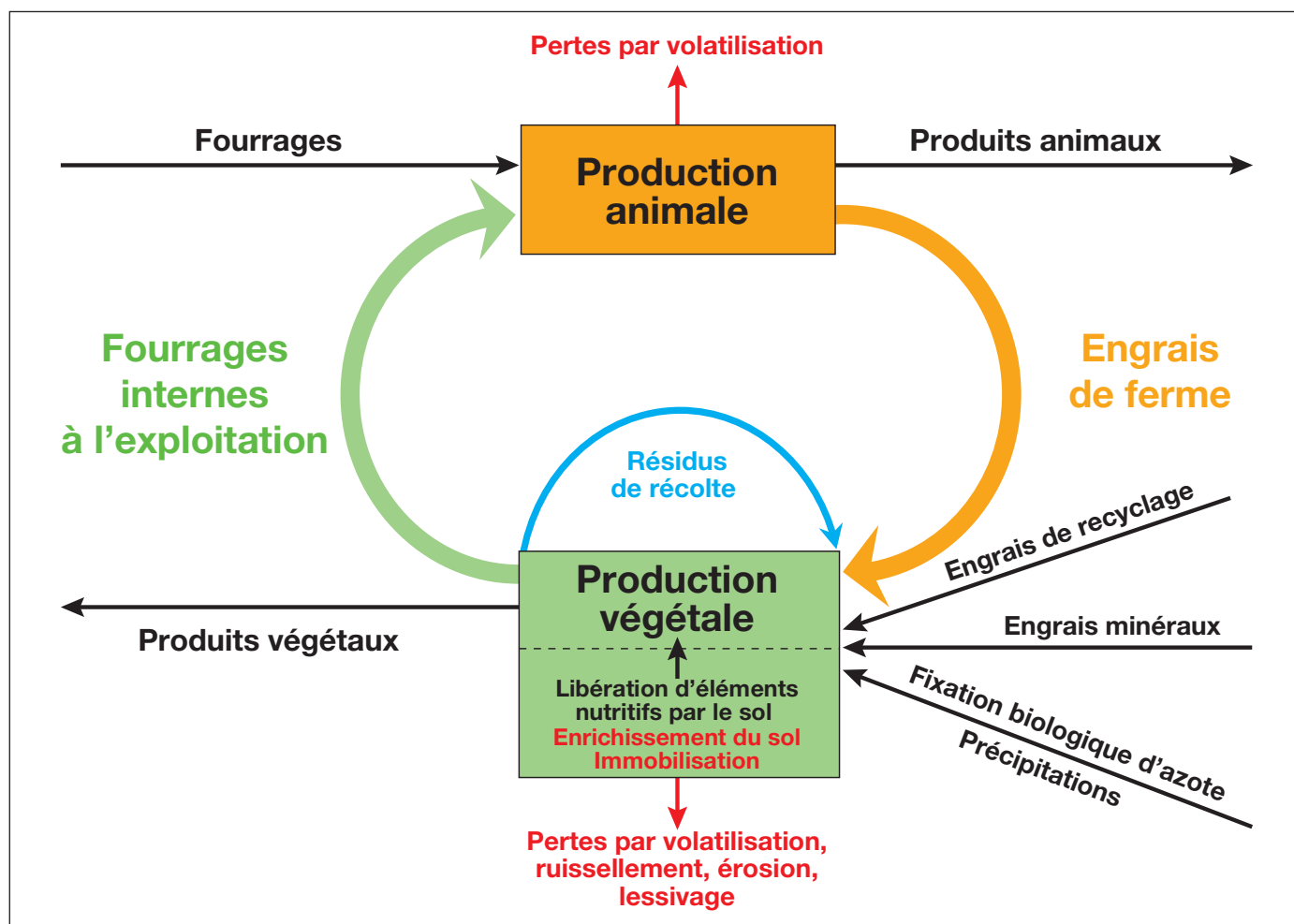
L'évolution des techniques et des moyens de production, de même que la diversification locale ou momentanée de l'agriculture font que ce document ne peut pas répondre à toutes les questions. Pour s'adapter à toutes les nouvelles situations, il convient de chercher des solutions avec les services de vulgarisation ou les stations de recherche agronomiques.

Les données de ce document sont basées sur des principes fondamentaux qui les rendent valables pour tous les systèmes de production agricole.

2. Buts et principes d'une fumure dirigée

La notion de fertilisation englobe tout apport d'éléments nutritifs essentiels pour les végétaux (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, etc.), quelle qu'en soit la forme. La fumure a pour but d'entretenir l'offre en éléments nutritifs afin d'assurer une croissance harmonieuse des plantes et l'obtention d'un rendement optimal de très bonne qualité, correspondant aux objectifs de production et aux conditions culturales, tout en respectant l'environnement. Il ne faut ni surexploiter ni sur-enrichir le sol, tout en maintenant durablement sa fertilité. A l'échelle de l'exploitation, une fertilisation raisonnée consiste à rééquilibrer au mieux le cycle des éléments nutritifs (**fig.1**).

Fig. 1. Cycle des éléments nutritifs dans une exploitation agricole.



La conception actuelle d'une fumure adaptée aux besoins des plantes est résumée dans la **figure 2**. Il convient de prendre en considération les facteurs suivants:

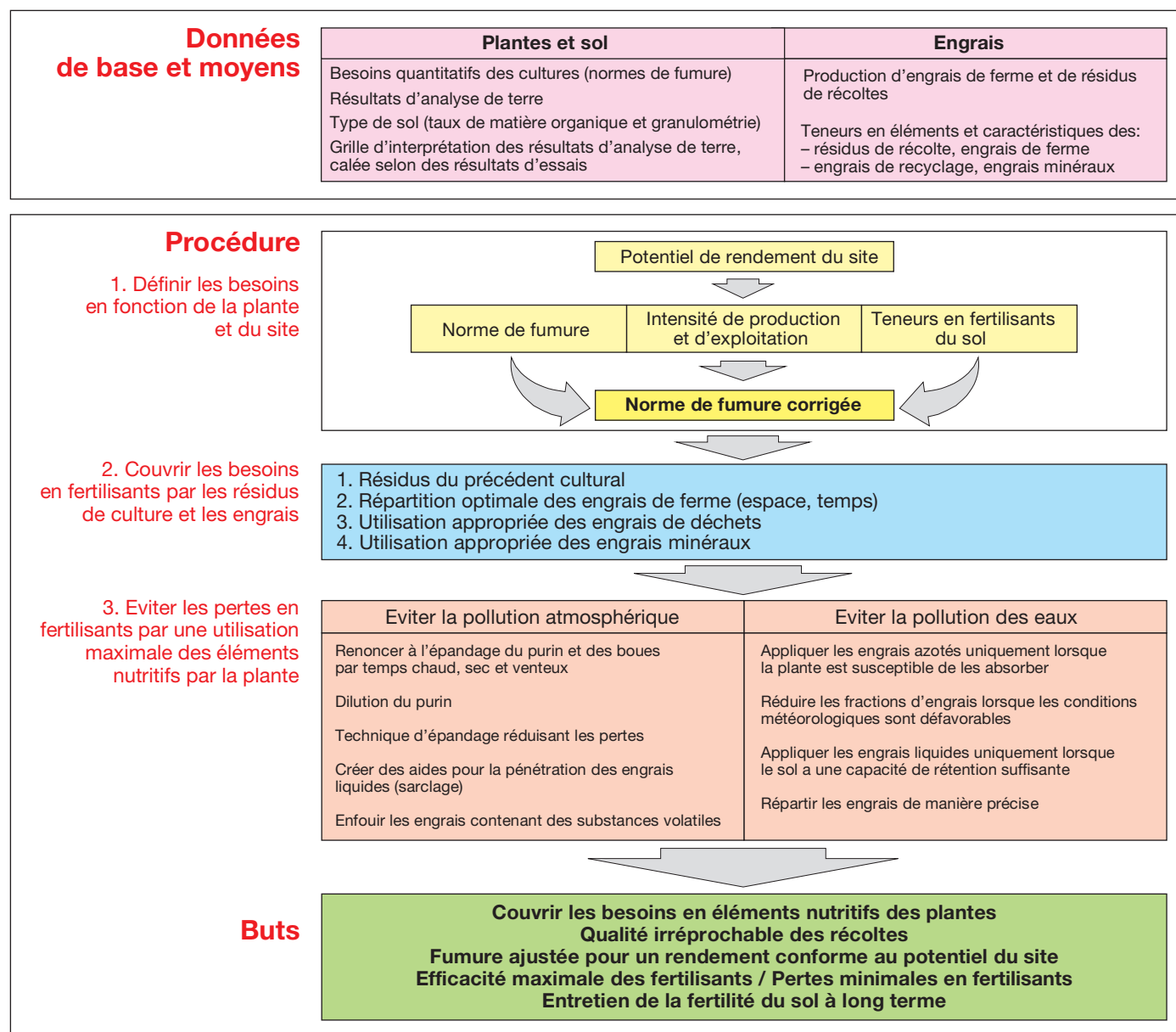
- Les besoins (totaux et momentanés) des plantes en éléments nutritifs
- L'état (disponibilité) des éléments nutritifs dans le sol
- La restitution d'éléments nutritifs par les résidus de récolte
- La quantité et la qualité des éléments nutritifs apportés par les engrais de ferme, les engrais de recyclage et autres amendements organiques
- La quantité et la qualité des éléments nutritifs apportés par les engrais minéraux
- Le devenir des éléments nutritifs dans le système sol-plante-environnement (air, eau)
- La rentabilité.

Il est dès lors indispensable de rappeler deux lois fondamentales de la production végétale particulièrement importantes pour la fertilisation:

- a. La loi du minimum, qui dit que l'élément le moins représenté ou le moins disponible pour la plante définit le niveau de rendement de la culture (éléments fertilisants, eau, lumière, température).
- b. La loi des accroissements non proportionnels, qui démontre le fait biologique suivant: l'accroissement des rendements n'est pas directement proportionnel à la dose d'engrais appliquée, mais devient toujours plus faible jusqu'à tendre vers zéro. Un excès en éléments nutritifs peut entraîner des baisses de rendement et de qualité ainsi que des pertes nuisibles à l'environnement.

Fig. 2. Concept de fertilisation en agriculture pour une utilisation durable du sol.

De plus, la fertilisation n'est pas le moyen approprié pour corriger des carences nutritives induites par des techniques culturales inadaptées (sol compacté, rotation déséquilibrée, semis tardif, variété inadaptée, protection phytosanitaire inadéquate, etc.).



3

Normes de fumure



Les normes de fumure sont basées sur les besoins des cultures en éléments nutritifs azote (N), phosphore (P), potassium (K) et magnésium (Mg) pour obtenir un rendement moyen. Ces normes sont corrigées en fonction de différents facteurs relatifs aux plantes, au sol ou au climat.

Les normes P, K et Mg pour les grandes cultures correspondent aux prélèvements par les plantes. Ces normes (valeurs) sont ensuite corrigées en fonction (i) de la capacité d'absorption de la culture et du rendement (section 3.2) et (ii) de l'état de la fertilité des sols (chapitre 6). Pour les herbages, ces normes sont égales ou inférieures au prélèvement, les différences possibles sont expliquées à la section 3.3. La norme est ensuite corrigée en fonction de l'état de fertilité des sols (chapitre 6).

Pour la fumure azotée des grandes cultures et herbages, les normes sont issues des résultats de nombreux essais conduits sur une large palette de types de sol et de conditions climatiques. L'adaptation de cette norme pour obtenir le conseil de fumure est décrite au chapitre 7.

3.1. Grandes cultures

Les prélèvements en N, P, K et Mg ainsi que les normes de fumure correspondantes pour les grandes cultures sont présentés dans le **tableau 1**. Le rendement pris en considération correspond à un niveau moyen atteint en Suisse. Il se base sur les résultats de la statistique agricole de l'Union suisse des paysans (USP). Les teneurs en éléments nutritifs sont fournies par les résultats de plusieurs essais des Stations de recherche Agroscope ACW et ART et le Livre vert (Agroscope ALP, 2004). Les normes pour P, K et Mg sont issues de ces données. Les normes pour l'azote, issues des résultats des essais conduits par ACW et ART, ne représentent pas les prélèvements effectifs, comme c'est le cas pour P, K et Mg.

Tableau 1. Prélèvements en N, P, K et Mg et normes de fumure pour les grandes cultures. Les prélèvements pris en compte dans ce tableau sont définis par les quantités récoltées (sans les pertes inévitables) et la quantité moyenne de produit annexe (sans les chaumes ni les racines).

Culture	Rendement de référence ¹ (dt/ha)	Produit	Prélèvement basé sur le rendement de référence (kg/ha)				Norme de fumure (kg/ha)			
			N	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O (K)	Mg	N	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O (K)	Mg
Blé automne (panifiable et biscuitier)	60	grain	121	49 (21)	26 (22)	7				
	70	paille	22	13 (6)	75 (62)	5				
	Total		143	62 (27)	101 (84)	12	140	60 (27)	100 (84)	15
Blé fourrager d'automne	75	grain	130	62 (27)	32 (27)	9				
	75	paille	21	14 (6)	80 (66)	5				
	Total		151	76 (33)	112 (93)	14	140	75 (33)	110 (93)	15
Blé de printemps	50	grain	101	41 (18)	22 (18)	6				
	60	paille	19	11 (5)	64 (53)	4				
	Total		120	52 (23)	86 (71)	10	120	50 (23)	85 (71)	10

Tableau 1 (suite) Culture	Rendement de référence ¹ (dt/ha)	Produit	Prélèvement basé sur le rendement de référence (kg/ha)				Norme de fumure (kg/ha)			
			N	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O (K)	Mg	N	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O (K)	Mg
Orge d'automne	60	grain	89	50 (22)	32 (27)	7				
	60	paille	26	13 (6)	96 (80)	4				
	Total		115	63 (28)	128 (107)	11	110	65 (28)	130 (107)	15
Orge de printemps	55	grain	81	46 (20)	30 (25)	6				
	55	paille	24	12 (5)	88 (73)	3				
	Total		105	58 (25)	118 (98)	9	90	60 (25)	120 (98)	10
Avoine d'automne	55	grain	88	44 (19)	28 (23)	6				
	70	paille	35	19 (8)	147 (122)	6				
	Total		123	63 (27)	175 (145)	12	90	65 (27)	175 (145)	15
Avoine de printemps	55	grain	91	44 (19)	28 (23)	6				
	70	paille	29	19 (8)	147 (122)	6				
	Total		120	63 (27)	175 (145)	12	90	65 (27)	175 (145)	15
Seigle d'automne	55	grain	72	44 (19)	28 (23)	6				
	70	paille	21	14 (6)	84 (70)	7				
	Total		93	58 (25)	112 (93)	13	90	60 (25)	110 (93)	15
Seigle d'automne hybride	65	grain	85	52 (23)	33 (27)	7				
	75	paille	23	15 (7)	90 (75)	8				
	Total		108	67 (30)	123 (102)	15	90	65 (30)	125 (102)	15
Epeautre	45	grain	72	36 (16)	23 (19)	5				
	70	paille	35	18 (8)	84 (70)	7				
	Total		107	54 (24)	107 (89)	12	100	55 (24)	105 (89)	15
Triticale d'automne	60	grain	96	43 (19)	29 (24)	5				
	75	paille	25	11 (5)	135 (112)	5				
	Total		121	54 (24)	164 (136)	10	110	55 (24)	165 (136)	10
Triticale de printemps	55	grain	88	40 (17)	27 (22)	5				
	70	paille	23	10 (4)	126 (105)	4				
	Total		111	50 (21)	153 (127)	9	100	50 (21)	155 (127)	10

Tableau 1 (suite) Culture	Rendement de référence ¹ (dt/ha)	Produit	Prélèvement basé sur le rendement de référence (kg/ha)				Norme de fumure (kg/ha)			
			N	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O (K)	Mg	N	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O (K)	Mg
Amidonniér, engrain	25	grain	55	20 (9)	13 (11)	4				
	45	paille	18	14 (6)	41 (34)	3				
	Total		73	34 (15)	54 (45)	7	30	35 (15)	55 (45)	10
Maïs-grain	95	grain	124	56 (24)	38 (32)	9				
	105	paille	77	26 (11)	183 (152)	14				
	Total		201	82 (35)	221 (184)	22	110	80 (35)	220 (184)	25
Maïs d'ensilage	175 ²	plante entière	201	82 (36)	221 (183)	22				
	Total		201	82 (36)	221 (183)	22	110	80 (36)	220 (183)	25
Maïs vert	60 ²	plante entière	114	39 (17)	162 (134)	6				
	Total		114	39 (17)	162 (134)	6	70	40 (17)	160 (134)	10
Pomme de terre de consommation et industrielle	450	tubercules	135	59 (26)	243 (202)	9				
	200	fanés	28	10 (4)	130 (108)	8				
	Total		163	69 (30)	373 (310)	17	120	70 (30)	375 (310)	20
Pomme de terre précoce	300	tubercules	69	45 (20)	150 (125)	6				
	200	fanés	66	14 (6)	140 (116)	12				
	Total		135	59 (26)	290 (241)	18	110	60 (26)	290 (241)	20
Pomme de terre plant	250	tubercules	58	38 (17)	125 (104)	5				
	200	fanés	66	14 (6)	140 (116)	12				
	Total		124	52 (23)	265 (220)	17	100	50 (23)	265 (220)	20
Betterave sucrière	750	racines	90	45 (20)	150 (125)	23				
	500	feuilles et collets	165	40 (17)	315 (261)	45				
	Total		255	85 (37)	465 (386)	68	100	85 (37)	465 (386)	70
Betterave fourragère	175 ²	racines	193	88 (38)	315 (261)	23				
	400	feuilles	140	32 (14)	280 (232)	36				
	Total		333	120 (52)	595 (493)	59	100	120 (52)	595 (493)	60
Colza d'automne	35	principal	91	51 (22)	30 (25)	8				
	65	secondaire	46	13 (6)	81 (67)	4				
	Total		137	64 (28)	111 (92)	12	140	65 (28)	110 (92)	15

Tableau 1 (suite) Culture	Rendement de référence¹ (dt/ha)	Produit	Prélèvement basé sur le rendement de référence (kg/ha)				Norme de fumure (kg/ha)			
			N	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O (K)	Mg	N	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O (K)	Mg
Colza de printemps	25	principal	65	37 (16)	21 (17)	7				
	45	secondaire	32	9 (4)	56 (46)	7				
	Total		97	46 (20)	77 (63)	14	120	45 (20)	75 (63)	15
Tournesol	30	grain	95	33 (14)	25 (21)	9				
	60	paille	54	16 (7)	369 (306)	45				
	Total		149	49 (21)	394 (327)	54	60	50 (21)	395 (327)	55
Chanvre oléagineux	13	grain	60	33 (14)	14 (12)	7				
	60	paille	54	24 (10)	84 (70)	9				
	Total		114	57 (24)	98 (82)	16	60	55 (24)	100 (82)	20
Chanvre à fibre³	100	principal	30	30 (13)	90 (75)	5				
	40	secondaire	110	60 (26)	110 (91)	20				
	Total		140	90 (39)	200 (166)	25	100	90 (39)	200 (166)	25
Lin oléagineux	20	grain	109	24 (10)	19 (16)	1				
	25	paille	15	13 (6)	45 (37)	2				
	Total		124	37 (16)	64 (53)	3	80	35 (16)	65 (53)	5
Lin fibre	45	grain	45	32 (14)	90 (75)	9				
	15	fibre	82	18 (8)	14 (12)	1				
	Total		127	50 (22)	104 (87)	10	60	50 (22)	105 (87)	10
Roseau de Chine	200²	plante entière	42	20 (9)	112 (93)	6				
	Total		42	20 (9)	112 (93)	6	30	20 (9)	110 (93)	10
Kénaf	50²	plante entière	100	60 (26)	80 (66)	10				
	Total		100	60 (26)	80 (66)	10	70	60 (26)	80 (66)	10
Pois protéagineux	40	grain	140	40 (17)	48 (40)	5				
	50	paille	100	38 (17)	80 (66)	11				
	Total		240	78 (34)	128 (106)	16	0	80 (34)	130 (106)	20
Féverole	40	grain	160	56 (24)	56 (46)	10				
	45	paille	135	16 (7)	90 (75)	15				
	Total		295	72 (31)	146 (121)	25	0	70 (31)	145 (121)	25

Tableau 1 (suite)		Produit	Prélèvement basé sur le rendement de référence (kg/ha)				Norme de fumure (kg/ha)			
Culture	Rendement de référence ¹ (dt/ha)		N	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O (K)	Mg	N	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O (K)	Mg
Soja	30	grain	180	35	58 (48)	6				
	30	paille	105	35	64 (53)	9				
	Total		285	70 (30)	122 (101)	15	0	70 (30)	120 (101)	15
Lupin doux	30	grain	165	30 (13)	41 (34)	6				
	30	paille	105	12 (5)	60 (50)	12				
	Total		270	42 (18)	101 (84)	18	0	40 (18)	100 (84)	20
Engrais vert (légumineuse)	25 ²	plante entière	70	25 (11)	90 (75)	5				
	Total		70	25 (11)	90 (75)	5	0	0 (0)	0 (0)	0
Engrais vert (non légumineuse)	25 ²	plante entière	70	25 (11)	90 (75)	5				
	Total		70	25 (11)	90 (75)	5	30 ⁴	0 (0)	0 (0)	0
Cultures dérobées (par utilisation)	25 ²	plante entière	70	24 (10)	88 (73)	6				
	Total		70	24 (10)	88 (73)	6	30	25 (10)	90 (73)	10
Tabac Burley	25 ²	feuilles	75	18 (8)	125 (104)	7				
	30 ²	troncs	69	22 (10)	135 (112)	6				
	Total		144	40 (18)	260 (216)	13	170	40 (18)	260 (216)	15
Tabac Virginie	25 ²	feuilles	63	14 (6)	119 (99)	5				
	25 ²	troncs	25	21 (9)	125 (104)	10				
	Total		88	35 (15)	244 (203)	15	0	35 (15)	245 (203)	15

Explication des calculs: les données de base servant au calcul sont le prélèvement par la récolte et les résidus en P₂O₅, K₂O et Mg. La conversion en P, K et MgO s'effectue en multipliant la valeur correspondante respectivement par 0,436, 0,830 et 1,658. Le prélèvement total équivaut à la somme des prélèvements des produits récoltés et des résidus de récolte. Pour P₂O₅ et K₂O, la norme est arrondie à un multiple de 5, pour Mg, la norme est arrondie à la hausse à un multiple de 5 et, pour P, K et MgO, la norme n'est pas arrondie.

- 1 Avec une teneur en eau moyenne à la récolte.
- 2 Rendement en matière sèche.
- 3 Selon le moment et la technique, on récolte la plante entière ou seulement la tige.
- 4 Comme fumure de démarrage pour améliorer le pouvoir concurrentiel de la culture principale.

3.2. Correction de la norme de fumure P, K, Mg en fonction de la capacité d'absorption des différentes cultures et du rendement

La capacité d'absorption des éléments nutritifs est différente selon les espèces végétales. Cette caractéristique dépend fortement du système racinaire (volume, profondeur d'enracinement, etc.). Pour tenir compte de cette caractéristique, la norme P, K et Mg est corrigée en fonction de la capacité d'absorption des espèces (**tabl. 2**). Cette norme corrigée correspond au conseil de fumure d'une culture pour un rendement moyen obtenu sur un sol jugé comme satisfaisant (chapitre 6).

Les céréales d'automne ont une bonne faculté d'absorption du K du sol, permettant une réduction de la fumure par rapport au prélèvement. Les espèces à racines pivotantes, comme la betterave, bénéficient également d'une réduction parce qu'elles vont chercher une grande part du K dans les couches profondes du sol. A l'inverse, pour les plantes qui ont un système racinaire peu développé et/ou une faible capacité d'absorption, comme les pommes de terre, la concentration en éléments nutritifs (P, K, Mg) dans la solution du sol doit être renforcée; en conséquence, la norme doit être majorée.

Cette approche convient lorsque la fumure consiste à maintenir un état de fertilité du sol qualifié de satisfaisant. Elle convient aussi lorsque la rotation des cultures est équilibrée entre cultures à forte et faible capacité. Sa limite peut se situer dans la capacité du profil du sol à participer à la nutrition d'une succession de cultures ayant une forte capacité d'absorption.

Lorsque les rendements sont régulièrement différents de la valeur de référence (**tabl.1**), les normes P, K et Mg doivent être corrigées linéairement.

Tableau 2. Prélèvements, facteurs de corrections et norme de fumure corrigée pour différentes grandes cultures.

La norme de fumure pour P, K et Mg, corrigée en fonction de la capacité d'absorption des différentes cultures, correspond au conseil de fumure pour un sol jugé comme satisfaisant (chapitre 6).

Culture	Norme de fumure (tabl. 1) (kg/ha)			Facteur de correction en fonction de la capacité d'absorption			Norme de fumure corrigée (kg/ha)		
	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O (K)	Mg	P	K	Mg	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O (K)	Mg
Blé d'automne (panifiable et biscuitier)	60 (27)	100 (84)	15	1	0,8	1	60 (27)	80 (67)	15
Blé d'automne (fourrager)	75 (33)	110 (93)	15	1	0,8	1	75 (33)	90 (74)	15
Blé de printemps	50 (23)	85 (71)	10	1	1	1	50 (23)	85 (71)	10
Orge d'automne	65 (28)	130 (107)	15	1	0,8	1	65 (28)	105 (86)	15
Orge de printemps	60 (25)	120 (98)	10	1	1	1	60 (25)	120 (98)	10
Avoine d'automne	65 (27)	175 (145)	15	1	0,8	1	65 (27)	140 (116)	15
Avoine de printemps	65 (27)	175 (145)	15	1	1	1	65 (27)	175 (145)	15
Seigle d'automne	60 (25)	110 (93)	15	1	0,8	1	60 (25)	90 (74)	15
Seigle d'automne (hybride)	65 (30)	125 (102)	15	1	0,8	1	65 (30)	100 (82)	15
Epeautre	55 (24)	105 (89)	15	1	0,8	1	55 (24)	85 (71)	15
Triticale d'automne	55 (24)	165 (136)	10	1	0,8	1	55 (24)	130 (109)	10
Triticale de printemps	50 (21)	155 (127)	10	1	1	1	50 (21)	155 (127)	10

Tableau 2 (suite)	Norme de fumure (tabl. 1) (kg/ha)			Facteur de correction en fonction de la capacité d'absorption			Norme de fumure corrigée (kg/ha)		
	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O (K)	Mg	P	K	Mg	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O (K)	Mg
Culture									
Amidonniér, engrain	35 (15)	55 (45)	10	1	0,8	1	35 (15)	45 (36)	10
Maïs-grain	80 (35)	220 (184)	25	1,2	1	1	95 (42)	220 (184)	25
Maïs d'ensilage	80 (36)	220 (183)	25	1,2	1	1	95 (43,2)	220 (183)	25
Maïs vert	40 (17)	160 (134)	10	1	1	1	40 (17)	160 (134)	10
Pomme de terre (consommation et industrielle)	70 (30)	375 (310)	20	1,2	1,2	1,2	85 (36)	450 (372)	25
Pomme de terre (précoce)	60 (26)	290 (241)	20	1,2	1,2	1,2	70 (31,2)	350 (289)	25
Pomme de terre (plant)	50 (23)	265 (220)	20	1,2	1,2	1,2	60 (27,6)	320 (264)	25
Betterave sucrière	85 (37)	465 (386)	70	1	0,8	1	85 (37)	370 (294)	70
Betterave fourragère	120 (52)	595 (493)	60	1	0,8	1	120 (52)	475 (394)	60
Colza d'automne	65 (28)	111 (92)	15	1	1	1	65 (28)	110 (92)	15
Colza de printemps	45 (20)	75 (63)	15	1	1	1	45 (20)	75 (63)	15
Tournesol	50 (21)	395 (327)	55	1	1	1	50 (21)	395 (327)	55
Chanvre oléagineux	55 (24)	100 (82)	20	1	1	1	55 (24)	100 (82)	20
Chanvre à fibre	90 (39)	200 (166)	25	1	1	1	90 (39)	200 (166)	25
Lin oléagineux	35 (16)	65 (53)	5	1	1	1	35 (16)	65 (53)	5
Lin fibre	50 (22)	104 (87)	10	1	1	1	50 (22)	105 (87)	10
Roseau de Chine	20 (9)	110 (93)	10	1	1	1	20 (9)	110 (93)	10
Kénaf	60 (26)	80 (66)	10	1	1	1	60 (26)	80 (66)	10
Pois protéagineux	80 (34)	130 (106)	20	1	1,2	1	80 (34)	155 (127)	20
Féverole	70 (31)	145 (121)	25	1	1,2	1	70 (31)	175 (145)	25
Soja	70 (30)	120 (101)	15	1	1,2	1	70 (30)	145 (121)	15
Lupin doux	40 (18)	100 (84)	20	1	1,2	1	40 (18)	120 (101)	20
Engrais vert (légumineuse)	0 (0)	0 (0)	0	1	1	1	0 (0)	0 (0)	0
Engrais vert (non légumineuse)	0 (0)	0 (0)	0	1	1	1	0 (0)	0 (0)	0
Cultures dérobées (par utilisation)	25 (10)	90 (73)	10	1	0,8	1,2	25 (10)	70 (58)	10
Tabac Burley	40 (18)	260 (216)	15	1	1	1	40 (18)	260 (216)	15
Tabac Virginie	35 (15)	245 (203)	15	1	1	1	35 (15)	245 (203)	15

Les prairies et les pâturages sont des communautés végétales formées de nombreuses espèces de valeur agronomique et écologique variable. Une prairie permanente constituée de 50 à 70% de graminées, de 10 à 30% de légumineuses et de 10 à 30% d'autres plantes permet dans la plupart des cas d'obtenir un fourrage abondant et de bonne qualité. Les espèces qui se développent dans une prairie ont des exigences différentes vis-à-vis des conditions naturelles et des pratiques d'exploitation. Pour favoriser et maintenir une bonne composition botanique, stable à long terme, et éviter le développement excessif d'espèces indésirables, le niveau de fumure doit impérativement être adapté à l'intensité d'utilisation (**fig. 3**) et tenir compte des conditions naturelles. Lorsque celles-ci sont peu favorables aux bonnes plantes fourragères (climat rude, exposition nord, sol lourd, parcelle peu ensoleillée, sol superficiel, etc.), une exploitation intensive est déconseillée.

La fumure des prairies et des pâturages se distingue par le fait que l'on tient compte non seulement des prélèvements par les plantes et du niveau de fertilité du sol, mais surtout de la composition botanique et, dans une certaine mesure, des teneurs en minéraux dans le fourrage. Autre particularité, les prairies et les pâturages sont principalement fertilisés avec des engrais de ferme qui contiennent une bonne partie des nutriments exportés par les fourrages. Les erreurs commises dans l'utilisation et la fumure d'une prairie ne sont pas toujours perceptibles immédiatement. Inversement, améliorer une prairie permanente dégradée est toujours difficile et nécessite plusieurs années.

Le **tableau 3** indique les prélèvements et les normes de fumure corrigées en N, P, K et Mg pour les prairies et les pâturages selon l'intensité d'exploitation. La relation entre le prélèvement et la norme de fumure corrigée varie selon l'intensité d'exploitation, afin de maîtriser la composition botanique et la qualité du fourrage (**tabl. 4**). Les normes corrigées du **tableau 3** sont valables pour les prairies permanentes et temporaires. Bien choisir l'intensité d'exploitation est essentiel: il faut tenir compte des conditions naturelles, de la composition botanique, en particulier des graminées dominantes, du stade et de la fréquence des utilisations. Les teneurs en éléments nutritifs d'un fourrage jeune sont supérieures à celles d'un fourrage récolté tardivement (voir **tabl. 60b** en annexe). Pour un même rendement, une prairie utilisée fréquemment prélève donc plus d'éléments nutritifs qu'une prairie exploitée de façon moins intensive et les normes de fumure corrigées sont plus élevées. Divers documents édités par l'ADCF et AGRIDEA facilitent la reconnaissance des principaux types de prairie et de pâturage.

Fig. 3. Intensité de l'exploitation fourragère selon l'utilisation et la fumure (en particulier la fumure azotée).

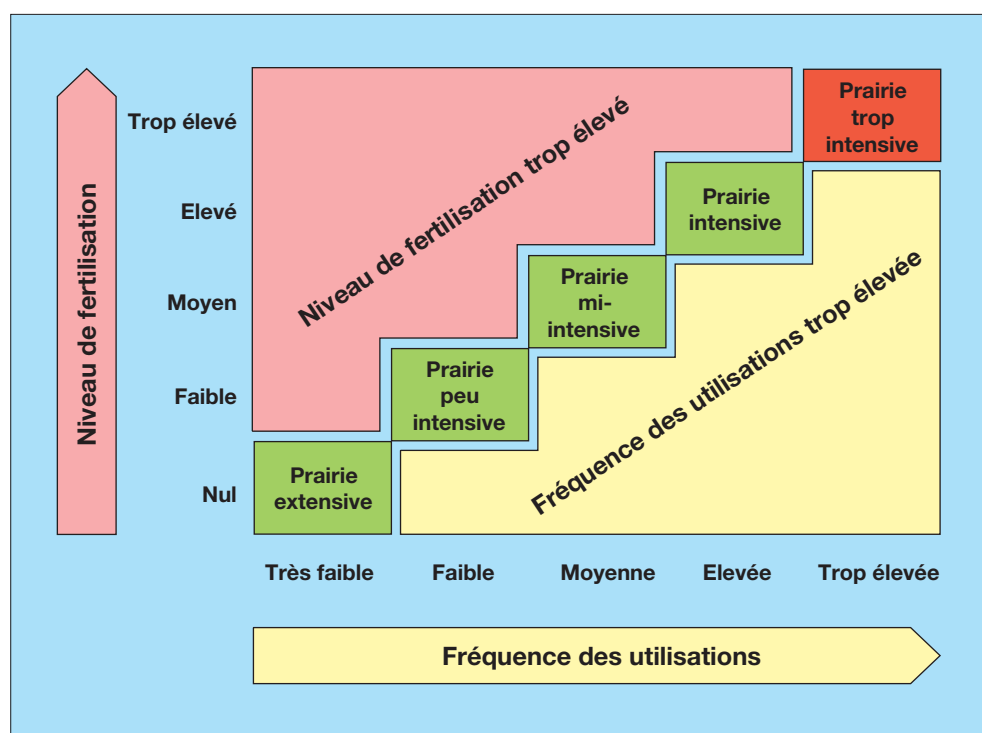


Tableau 3. Prélèvements annuels en N, P, K et Mg et normes de fumure corrigées avec les facteurs du tableau 4 pour les prairies et les pâturages, selon l'intensité d'exploitation et l'altitude

Ces normes corrigées sont valables pour les prairies permanentes et temporaires.

Intensité d'exploitation Nombre d'utilisations par année ¹	Altitude ² (m)	Rende- ment annuel ³ (dt MS/ha)	Prélevements ⁴ (kg/ha)				Normes de fumure corrigées (kg/dt MS resp. kg/ha)			
			N	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O ⁵ (K)	Mg	N ⁶	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O ⁷ (K)	Mg
PRAIRIE										
Intensive ^{8, 9}							1,0-1,3	0,8 (0,35)	2,4 (2,0)	0,3
– 5-6 utilisations ¹⁰	< 600	135	330	108 (47)	430 (357)	34	150-180	110 (48)	325 (270)	40
– 5 utilisations	< 700	115	280	92 (40)	370 (307)	29	130-150	90 (39)	275 (228)	35
– 4 utilisations	600-1100	100	245	80 (35)	320 (266)	25	100-130	80 (35)	240 (199)	30
– 3 utilisations	1000-1500	80	195	64 (28)	255 (212)	20	70-100	65 (28)	190 (158)	25
– 2 utilisations	> 1400	55	135	44 (19)	175 (145)	14	50-70	45 (20)	130 (108)	15
Mi-intensive ^{8, 9}							0,8-1,1	0,7 (0,31)	1,9 (1,6)	0,25
– 4 utilisations	< 700	100	195	75 (33)	270 (224)	23	80-110	70 (31)	190 (158)	25
– 3 utilisations	600-1100	75	145	56 (24)	205 (170)	17	60-80	50 (22)	145 (120)	20
– 2 utilisations	1000-1500	50	100	38 (17)	135 (112)	12	40-60	35 (15)	95 (79)	15
– 1-2 utilisations	> 1400	35	70	26 (11)	95 (79)	8	30-40	25 (11)	65 (54)	10
Peu intensive ⁸ (prairie à faner riche en espèces)							0,4-0,7	0,6 (0,26)	1,5 (1,2)	0
– 3 utilisations	< 700	65	105	47 (20)	145 (120)	14	25-40	40 (17)	95 (79)	0
– 2 utilisations	600-1100	50	80	36 (16)	115 (95)	11	20-30	30 (13)	75 (62)	0
– 1-2 utilisations	1000-1500	35	55	25 (11)	80 (66)	7	15-25	20 (9)	50 (42)	0
– 1 utilisation	> 1400	25	40	18 (8)	55 (46)	5	10-20	15 (7)	35 (29)	0
Extensive (prairie maigre, pré à litière)							0	0	0	0
– 1 utilisation	–	10-30	15-40	5-20 (2-9)	20-60 (17-50)	2-6	0	0	0	0
Culture dérobée, semis d'août de prairie temporaire							0,7-1,2	0,8 (0,35)	2,4 (2,0)	0,4
Par utilisation		25	70	25 (11)	90 (75)	5	30	20 (9)	60 (50)	10
PRODUCTION DE SEMENCES										
Avec production mi-intensive de fourrage							0-1,9	0,7 (0,31)	1,9 (1,6)	0,25
– légumineuses pures		120	360	84 (37)	330 (274)	26	0	80 (35)	230 (191)	30
– graminées pures		120	230	90 (39)	320 (266)	26	170-230	85 (37)	225 (187)	30
Avec production très intensive de fourrage ¹⁵							1,7-1,9	0,8 (0,35)	2,0 (1,7)	0,25
– graminées pures		135	265	105 (46)	370 (307)	32	230-260	100 (44)	270 (224)	30

Tableau 3 (suite). Prélèvements annuels en N, P, K et Mg et normes de fumure corrigées avec les facteurs du tableau 4 pour les prairies et les pâturages, selon l'intensité d'exploitation et l'altitude

Ces normes corrigées sont valables pour les prairies permanentes et temporaires.

Intensité d'exploitation Nombre d'utilisation par année ¹	Altitude ² (m)	Rende- ment annuel ³ (dt MS/ha)	Prélevements ⁴ (kg/ha)				Normes de fumure corrigées (kg/dt MS resp. kg/ha)			
			N	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O ⁵ (K)	Mg	N ⁶	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O ⁷ (K)	Mg
PÂTURAGE ¹¹										
Intensif ^{13, 14} (> 3 UGB/ha/saison de pâture) ¹²							1,0-1,4	0,53/0,37 (0,23/0,16)	1,06/0,32 (0,88/0,27)	0,20/0,20
– 5-7 rotations	< 700	100	270	85 (37)	355 (295)	25	100-140	55/35 (24/15)	105/30 (87/25)	20/20
– 4-6 rotations	600-1100	85	230	72 (31)	300 (249)	21	80-120	45/30 (20/13)	90/25 (75/21)	15/15
– 3-5 rotations	1000-1500	70	190	60 (26)	250 (208)	18	60-100	35/25 (15/11)	75/20 (62/17)	15/15
Mi-intensif ¹³ (2-3 UGB/ha/saison de pâture) ¹²							0,7-1,0	0,48/0,33 (0,21/0,14)	0,80/0,24 (0,66/0,20)	0,15/0,15
– 4-5 rotations	< 700	85	185	68 (30)	260 (216)	20	60-75	40/30 (17/13)	65/20 (54/17)	15/15
– 3-4 rotations	600-1100	65	140	52 (23)	200 (166)	15	45-60	30/20 (13/9)	50/15 (42/12)	10/10
– 2-3 rotations	1000-1500	40	90	32 (14)	120 (100)	9	30-45	20/15 (9/7)	35/10 (29/8)	5/5
– 1-3 rotations	> 1400	30	65	24 (10)	90 (75)	7	15-30	15/10 (7/4)	25/5 (21/4)	5/5
Peu intensif (1-2 UGB/ha/saison de pâture) ¹²							0	0,4 (0,17)	0,4 (0,3)	0
– 2-4 rotations	< 700	50	90	36 (16)	130 (108)	11	0	20 (9)	20 (17)	0
– 2-3 rotations	600-1100	40	70	29 (13)	100 (83)	8	0	15 (7)	15 (12)	0
– 1-3 rotations	1000-1500	30	50	22 (10)	75 (62)	6	0	10 (4)	10 (8)	0
– 1-2 rotations	> 1400	20	35	15 (7)	50 (42)	4	0	10 (4)	10 (8)	0
Extensif (< 1,0 UGB/ha/saison de pâture) ¹²							0	0	0	0
– 1-2 rotations	–	10-25	15-40	5-15 (2-7)	25-55 (21-46)	2-5	0	0	0	0

1 La dernière pâture en automne compte comme utilisation uniquement si le rendement est non négligeable (rendement consommé > 10 dt MS/ha).

2 Les indications d'altitude sont valables pour les Préalpes et les Alpes; dans le Jura où le climat est plus rude, les limites d'altitude doivent être abaissées et deviennent respectivement: < 600, 600-900, 900-1300, > 1300 m.

3 Il s'agit du rendement récolté ou consommé par les animaux au pâturage; pour les prairies de fauche, les pertes au champ sont prises en compte, mais pas les pertes en conservation (silo, séchoir ou tas).

4 Il s'agit d'un prélèvement moyen, calculé à partir du rendement effectif et de la valeur médiane indiquée dans le tableau 60b; ce prélèvement peut varier considérablement; pour un pâturage, il correspond à la quantité moyenne d'éléments fertilisants consommés par les animaux.

5 Les prélèvements en potassium sont nettement supérieurs à la norme de fumure corrigée car de nombreuses exploitations ont trop de potassium dans le cycle des éléments fertilisants; ce problème provient généralement d'apports antérieurs trop élevés.

6 Les apports d'azote aux prairies et aux pâturages sont effectués à chaque utilisation, conformément aux indications du tableau 27; la norme corrigée d'azote indiquée ici ne s'applique pas aux mélanges à base de luzerne (type L) et de trèfle violet (type M), qui ne reçoivent en principe pas d'azote.

7 Les apports d'engrais du commerce supérieurs à 200 kg K₂O/ha doivent être répartis en deux fois (par exemple au départ de la végétation et après la 1^{re} ou 2^e coupe).

8 En cas de fauche-pâture, les restitutions par pâture indiquées dans le tableau 5 doivent être déduites des normes de fumure corrigées pour prairie.

9 Pour P, K et Mg, les mélanges à base de luzerne (type L) et de trèfle violet (type M) sont fertilisés selon les normes pour prairie intensive, bien que la fréquence des coupe corresponde généralement à une utilisation mi-intensive.

10 Ces données sont surtout valables pour les prairies à ray-grass d'Italie.

11 Dans les normes de fumure corrigées des pâturages, les restitutions par la pâture sont déjà prises en compte.

12 Le nombre d'UGB par hectare et par saison de pâture permet d'évaluer l'intensité d'exploitation moyenne sur l'ensemble de la surface pâturée lorsqu'il n'y a pas ou que très peu d'affouragement complémentaire à la crèche; selon les conditions du milieu, l'intensité d'exploitation peut varier fortement d'une parcelle à l'autre et les apports en éléments fertilisants doivent être adaptés à chaque situation.

13 Les normes de fumure corrigées des pâturages mi-intensifs et intensifs sont indiquées pour une pâture avec détention à l'étable (première valeur) et sans détention à l'étable (seconde valeur).

14 Ces normes corrigées sont aussi valables pour la pâture continue sur gazon court (sans rotation).

15 Ce système de production n'est possible que dans des conditions naturelles particulièrement favorables.

Les prélèvements et les normes de fumure corrigées donnés dans le **tableau 3** sont valables pour les rendements indiqués. Ces derniers diminuent avec l'altitude (durée de végétation plus courte) et l'on a tenu compte du fait que la pâture occasionne généralement des pertes plus importantes que la récolte du fourrage. Une conduite optimale de la pâture réduit cette différence. Lorsque les conditions de croissance des plantes sont particulièrement favorables, il est possible d'obtenir un rendement supérieur à la valeur indiquée, en particulier avec certaines prairies temporaires. Au contraire, lorsque l'ensoleillement est insuffisant (exposition nord, lisière de forêt) ou lorsque les plantes souffrent périodiquement d'un manque ou d'un excès d'eau (sol superficiel et léger, sol lourd et compacté, précipitations trop faibles ou trop importantes), le rendement annuel diminue. Les rendements mentionnés dans le **tableau 3** sont indicatifs: il est donc recommandé de les vérifier sur l'ensemble de l'exploitation en se basant sur la quantité de fourrage consommée par les animaux au cours d'une année. Pour un pâturage, le rendement consommé peut être estimé de la façon suivante:

$$\text{Rendement consommé} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Charge} \\ \text{instantanée} \\ \text{dt MS/ha} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{Durée} \\ \text{de la pâture} \\ \text{Jours} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{Consommation journalière} \\ \text{moyenne au pâturage} \\ \text{kg MS/UGB/jour} \end{array} \right\} : 100$$

La charge instantanée est égale au nombre d'UGB/ha qui pâturent en même temps sur le pâturage. La durée de la pâture équivaut au nombre total de jours de pâture au cours d'une année sur le pâturage en question. La consommation journalière moyenne au pâturage varie selon la quantité de fourrage disponible, l'importance de l'affouragement à la crèche et le niveau de production des animaux. Lorsque l'offre est suffisante et la pâture intégrale, la consommation journalière peut atteindre 17 à 18 kg MS. En moyenne, le calcul s'effectue avec 16 kg MS/UGB/jour (base: vache laitière produisant 6500 kg lait/an).

Tableau 4. Relation entre le prélèvement par la prairie et le pâturage et la norme de fumure corrigée pour P, K et Mg, en fonction de leur intensité d'exploitation.

Intensité d'exploitation	P	K	Mg
Prairie intensive	1,00	0,75	1,2
Prairie mi-intensive	0,95	0,70	1,1
Prairie peu intensive	0,85	0,65	–
Prairie extensive	–	–	–
Pâturage intensif ¹	0,60/0,40	0,30/0,08	0,80/0,80
Pâturage mi-intensif ¹	0,60/0,40	0,30/0,07	0,70/0,70
Pâturage peu intensif	0,55	0,15	–
Pâturage extensif	–	–	–
Production de semences (graminées ou légumineuses pures)	0,95	0,70	1,15

¹ La première valeur s'applique à une **pâture avec détention à l'étable**, la seconde à une **pâture sans détention à l'étable**; les différentes techniques de pâture sont définies dans le chapitre 3.3.

Si les rendements obtenus s'écartent des rendements indicatifs du **tableau 3**, il faut corriger la fumure. Pour cela, on utilisera les indications du même tableau qui donne aussi les quantités de phosphore, potassium et magnésium à apporter par dt MS pour les différents types de prairie et de pâturage.

Les normes de fumure corrigées des prairies et des pâturages sont souvent inférieures aux prélèvements, en particulier pour:

L'azote: les normes corrigées sont nettement inférieures aux prélèvements, car les plantes disposent d'autres sources d'azote que la fumure: fixation biologique par les légumineuses, minéralisation de la matière organique du sol, dépôts atmosphériques;

Le potassium: les normes corrigées sont inférieures aux prélèvements car la teneur réelle des herbages (en moyenne suisse 30 g K/kg MS) dépasse très souvent la teneur souhaitée (max. 20 g K/kg MS) pour maintenir une composition botanique équilibrée, assurer une bonne croissance des plantes et préserver la santé des animaux; les teneurs élevées observées dans les herbages sont généralement dues à une trop grande dispo-

nibilité en potassium dans le sol et à une consommation de luxe par les plantes; la norme de teneur en potassium des engrais de ferme est établie à partir de la teneur réelle moyenne des herbages (30 g K/kg MS); ainsi, les engrais de ferme apportent souvent des quantités de potassium qui dépassent les besoins des prairies et des pâturages; dans ces situations, il faut répartir les engrais de ferme de l'exploitation en fonction de l'azote et du phosphore et renoncer aux engrais minéraux contenant du potassium;

Les prairies extensives et peu intensives: pour préserver la diversité botanique de ces prairies, les apports d'engrais doivent être inférieurs aux prélèvements. Les éléments fertilisants manquants sont pris dans les réserves du sol;

Les pâturages: les apports d'engrais sont inférieurs aux quantités de nutriments contenues dans les fourrages ingérés par les animaux, car des éléments fertilisants sont directement restitués par les déjections pendant la pâture.

Dans les normes corrigées pour les pâturages (sans fauche) indiquées dans le **tableau 3**, les restitutions pendant la pâture sont donc déjà prises en compte. Celles-ci dépendent de la technique de pâture, en particulier de sa durée journalière et de la part de la ration consommée au pâturage. Pour les pâturages intensifs et mi-intensifs, le **tableau 3** indique deux normes de fumure corrigées. La première est valable pour les systèmes de pâture avec détention à l'étable dans lesquels les animaux consacrent l'essentiel du temps disponible sur le pâturage à se nourrir (par exemple 50% d'affouragement au pâturage pendant 5 à 6 heures de pâture par jour, ou près de 100% avec 10 à 12 h). La seconde valeur s'applique à une pâture sans détention à l'étable (les animaux se nourrissent entièrement sur le pâturage où ils séjournent en permanence, sauf éventuellement pendant la traite pour les vaches laitières), aussi appelée pâture intégrale. Dans ce cas, la majeure partie des éléments fertilisants ingérés par les animaux est excrétée sur le pâturage et les exportations sont faibles. Les normes de fumure corrigées ne diminuent toutefois pas proportionnellement à l'augmentation des déjections sur le pâturage, car la répartition des bouses et des pissats est moins régulière lorsque les animaux ne sont pas sur le pâturage uniquement pour se nourrir. Les pâturages non prioritairement destinés à l'affouragement du bétail ne doivent pas être fertilisés car les quantités importantes d'éléments fertilisants apportés par les déjections suffisent tout de même à couvrir les besoins des plantes.

Pour les prairies occasionnellement pâturées (fauche-pâture), les restitutions dues à la pâture sont déduites de la norme corrigée pour prairie de fauche. Les restitutions désignent les quantités moyennes d'éléments fertilisants qui peuvent être valorisées par les plantes lors d'une pâture moyenne (rendement consommé d'environ 15 dt MS/ha, soit environ 95 UGB jours/ha pour une consommation journalière de 16 kg MS/UGB/jour). Le **tableau 5** donne les restitutions par la pâture en phosphore, potassium et magnésium, selon l'intensité d'exploitation et la technique de pâture.

Tableau 5. Restitutions en P, K et Mg à déduire des normes de fumure corrigées en cas de pâture pour une prairie mi-intensive ou intensive (fauche-pâture).

Ces restitutions sont valables pour une pâture moyenne, équivalente à environ 15 dt MS/ha (rendement consommé) ou 95 UGB jours/ha (base: vache laitière produisant 6500 kg lait/an).

Intensité d'exploitation	Système de pâture ¹	Quantité à déduire par pâture ² (kg/ha)			
		N ³	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O (K)	Mg
Intensive	Pâture avec détention à l'étable	–	5,5 (2,4)	27 (22)	2,0
	Pâture sans détention à l'étable	–	8,5 (3,7)	43 (36)	3,0
Mi-intensive	Pâture avec détention à l'étable	–	4,5 (2,0)	23 (19)	1,5
	Pâture sans détention à l'étable	–	6,5 (2,8)	32 (27)	2,0
Peu intensive	Tous les systèmes	–	4,0 (1,7)	20 (17)	–

¹ Les différentes techniques de pâture sont définies dans le chapitre 3.3.

² La dernière pâture en automne compte comme utilisation uniquement si le rendement est non négligeable (rendement consommé > 10 dt MS/ha).

³ Les restitutions en azote par la pâture sont déjà prises en compte dans les normes de fumure corrigées par utilisation (voir tabl. 27).

4

Analyses de sol et interprétation des résultats



Pour optimiser la fumure, il faut prendre en considération, en plus du besoin des plantes, différentes caractéristiques du sol. Ces dernières sont appréciées par des analyses périodiques (tous les 3-4 ans en grandes cultures et 4-6 ans pour les herbages). Leurs résultats servent à contrôler l'effet des fumures antérieures et à améliorer la fertilisation des cultures à venir. Des directives pour le prélèvement correct des échantillons, déterminant pour la qualité des résultats, peuvent être obtenues auprès des services de vulgarisation.

L'évolution à long terme de la richesse du sol en éléments fertilisants peut être contrôlée par le biais du bilan des éléments fertilisants. Ce suivi à long terme nécessite une planification rigoureuse des prélèvements de sol au cours du temps afin que les conditions soient toujours comparables (lieu, moment dans la rotation, profondeur de prélèvement, etc.).

Les méthodes d'analyse les plus importantes utilisées à ce jour par les stations de recherche sont résumées dans le **tableau 6**. Toutes ces méthodes ont été étalonnées à l'aide de nombreux résultats d'essais de plein champ durant des décennies.

Tableau 6. Principales méthodes d'analyses de sol utilisées par les stations de recherche Agroscope pour optimiser la fumure des grandes cultures et des herbages. Une description complète se trouve dans les «Méthodes de référence des stations de recherche Agroscope».

Prélèvement des échantillons		Préparation des échantillons	Paramètre recherché (élément nutritif ou caractéristiques du sol)	Solutions/méthodes d'extraction	Rapport terre/solution d'extraction	Temps d'agitation et d'extraction	Unité de mesure définissant les résultats	Relation entre unités de mesures et résultats; calculs
Moment	Profondeur							
Intervalle entre la récolte de la dernière culture et la fumure de la suivante. Idéalement toujours au même moment dans la rotation des cultures	0-10 cm en prairie permanente et 0-20 cm en terre assolée	Séchage à l'air à 40 °C et tamisage à 2 mm	P	H ₂ O saturée en CO ₂	1 : 2,5	1 h	indice	Indice 1 = 0,0356 mg P ₂ O ₅ /100 g de terre
			K	H ₂ O saturée en CO ₂	1 : 2,5	1 h	indice	indice 1 = 1 mg K ₂ O/100 g de terre
			Mg	0,0125-M CaCl ₂	1 : 10	2 h	indice	indice 1 = 1 mg Mg/100 g de terre
			Mn (échangeable)	1-M acétate d'ammonium	1 : 10	30 min	ppm	mg/kg de terre
			Mn (facilement réductible)	1-M acétate d'ammonium + hydroquinone	1 : 10	30 min	ppm	mg/kg de terre
			B	Eau chaude	1 : 5	5 min (1 ^{er} refroidissement par flux inverse)	ppm	mg/kg de terre
			H ⁺	Eau dist.	1 : 2,5	12 h	pH	
			CaCO ₃	HCl concentré, dilution 1:1			%	g CaCO ₃ /100 g de terre

Tableau 6 (suite). Principales méthodes d'analyses de sol utilisées par les stations de recherche Agroscope pour optimiser la fumure des grandes cultures et des herbages.
Une description complète se trouve dans les «Méthodes de référence des stations de recherche Agroscope».

Prélèvement des échantillons		Préparation des échantillons	Paramètre recherché (élément nutritif ou caractéristiques du sol)	Solutions/méthodes d'extraction	Rapport terre/solution d'extraction	Temps d'agitation et d'extraction	Unité de mesure définissant les résultats	Relation entre unités de mesures et résultats; calculs
Moment	Profondeur							
Intervalle entre la récolte de la dernière culture et la fumure de la suivante. Idéalement toujours au même moment dans la rotation des cultures	0-10 cm en prairie permanente et 0-20 cm en terre assolée	Séchage à l'air à 40 °C et tamisage à 2 mm	P, K, Mg	0,5 M acétate d'ammonium + 0,5 M acide acétique + 0,025 M EDTA	1:10	1 h	ppm	mg/kg de terre
			Texture ¹ – Argile – Silt – Sable	Sédimentation Sédimentation Calculé par différence			% % %	g/100 g de terre g/100 g de terre g/100 g de terre
			MO ¹	Combustion par voie humide avec du K ₂ Cr ₂ O ₇ et titration			% C org.	% MO = % C org. × 1,725
			– MO – Argile – Silt	Test tactile			% % %	
			Capacité d'échange des cations (CEC) pour les sols à pH (H₂O) < 6,0					
			K ⁺ , Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺	0,05 M HCl + 0,0125 M H ₂ SO ₄	1 : 4	5 min	cmol+	CEC = cmol+ (H ⁺ + K ⁺ + Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ + Na ⁺) par 100 g de terre
			H ⁺	Différence pH	1 : 1		cmol+	
			Capacité d'échange des cations (CEC) pour les sols à pH (H₂O) > 5,9					
			K ⁺ , Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺	0,1 M chlorure de barium + 2 M triéthanolamine	1 : 25	15 h à 45 °C, puis agitation 1 h	cmol+	CEC = cmol+ (H ⁺ + K ⁺ + Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ + Na ⁺) par 100 g de terre
			H ⁺	Titration			cmol+	
			Taux de saturation				%	S = cmol+ (K ⁺ + Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ + Na ⁺) * 100 / CEC
Juste avant l'apport d'engrais N (printemps, mai-juin)	0-90 cm (0-30, 30-60, 60-90)	Frais (froid) et tamisé (10 mm)	NO ₃ -N + NH ₄ -N	0,0125 M CaCl ₂	1 : 4	1 h	kg N par ha	

1 Granulométrie de la terre fine: somme des % d'argile + silt + sable + MO = 100%.

Pour l'interprétation des résultats d'analyse P, K et Mg, la capacité d'échange des cations (CEC) est un paramètre important qui renseigne sur la capacité du sol d'accumuler les éléments nutritifs. Le taux d'argile et la CEC sont étroitement corrélés. Pour cette raison, il est judicieux d'évaluer les teneurs du sol en P, K et Mg en relation avec la proportion d'argile estimée ou analysée dans la terre fine. Dans les sols avec plus de 10% de matière organique, la teneur en humus est également prise en compte dans l'interprétation des teneurs en éléments fertilisants.

L'adaptation de la norme de fumure à la richesse du sol se fait par l'intermédiaire de facteurs de correction. Le niveau de fertilité général du sol pour P, K ou Mg est réparti en cinq classes en relation avec les facteurs de correction (**tabl. 7**).

Tableau 7. Appréciation du niveau de fertilité basée sur les facteurs de correction définis dans les tableaux 11 à 16.

Facteur de correction	Appréciation	Classe de fertilité
> 1,4	Pauvre	A
1,2-1,4	Médiocre	B
0,9-1,1	Satisfaisant	C
0,2-0,8	Riche	D
< 0,2	Très riche	E

Pour certains types de sols, le niveau d'approvisionnement en P, K, Mg donné par l'analyse de terre ne reflète pas forcément la réalité, en particulier à cause de la combinaison entre certaines caractéristiques du sol et les méthodes d'analyses.

Avec la méthode d'extraction à l'eau saturée en CO₂, les sols avec un **taux d'argile supérieur à 40%** présentent souvent de faibles teneurs en phosphore et/ou potassium (classe de fertilité A), malgré une fertilisation renforcée à long terme et une culture dont le développement et le rendement sont normaux. Par rapport au prélèvement par la plante, il n'existe pas de relation entre l'excédent de fumure appliquée et les résultats d'analyses de terre.

Avec l'extractant acide plus fort **acétate d'ammonium + EDTA**, l'interprétation des résultats n'est pas fiable pour les sols calcaires principalement, mais aussi partiellement pour les sols acides à faible taux d'argile, car la méthode extrait aussi une partie des éléments non disponibles pour la plante. Le résultat fait ainsi paraître un taux d'éléments nutritifs plus élevé que ce qui est réellement disponible pour les plantes.

Dans ces cas, il convient de choisir la méthode d'extraction la plus appropriée à chaque type de sol. Dans certaines situations, il est conseillé de procéder à une analyse complémentaire, mieux adaptée, pour apprécier le niveau de fertilité du phosphore et/ou du potassium de manière fiable. En règle générale, il est utile de prendre contact avec les stations de recherche Agroscope, afin d'assurer la meilleure interprétation possible des cas particuliers.

La teneur en matière organique du sol (humus) est appréciée selon cinq classes. Cette teneur peut être appréciée sous l'aspect physico-chimique (pédologie) ou selon les incidences sur la dynamique de l'azote dans le sol (agronomie) (**tabl. 8**).

Tableau 8. Interprétation pédologique et agronomique du taux de matière organique du sol. Le taux de matière organique du sol est calculé à partir du taux de carbone lié (C).
MO = C × 1,725.

Qualification pédologique relative au type de sol (physique et chimique)		Interprétation agronomique (concerne surtout la dynamique de l'azote)			
Taux de matière organique (%)	Qualification du sol	Taux d'humus (%) selon le taux d'argile du sol			Appréciation
		< 15% argile	15-30% argile	> 30% argile	
< 2	Pauvre en humus	< 1,2	< 1,8	< 2,5	Faible/pauvre
2-4,9	Faiblement humifère	1,2-2,9	1,8-3,9	2,5-5,9	Satisfaisant/normal
5-9,9	Humifère	3,0-6,9	4,0-7,9	6,0-9,9	Riche/élevé
10-19,9	Riche en humus	7,0-19,9	8,0-19,9	10,0-19,9	Très riche/très élevé
≥ 20	Tourbeux	≥ 20,0	≥ 20,0	≥ 20,0	Tourbeux

Le degré d'acidité du sol est exprimé par le pH et réparti en six classes (**tabl. 9**). La valeur du pH sert à la fois à estimer grossièrement l'état calcique du sol et à choisir l'engrais approprié (en particulier pour les phosphates). Les données techniques pour l'évaluation de l'état calcique en vue d'un chaulage éventuel figurent dans le chapitre 8.

Lorsque les rendements sont élevés et dans des conditions de sol et d'exploitation particulières, les micro-éléments peuvent également atteindre des valeurs minimales. Dans des cas exceptionnels (cultures exigeantes, risques de carence élevés), il sera nécessaire de déterminer leur teneur dans le sol, en particulier en bore et en manganèse. L'interprétation des valeurs d'analyse correspondantes est donnée dans le chapitre 9.

La détermination de l'azote minéral du sol ($N_{\min}$) contribue à optimiser la fumure azotée en grandes cultures. L'adaptation de la dose et du moment de la fumure N en fonction des teneurs en $N_{\min}$ du sol est traitée au chapitre 7. La méthode $N_{\min}$ peut aussi rendre de précieux services pour l'analyse de problèmes écologiques. En revanche, elle ne permet pas de juger, après la fumure ou après la récolte, de la justesse de la fertilisation azotée apportée à la culture.

Tableau 9. Appréciation du pH du sol et besoin du sol en chaux pour les grandes cultures.

pH (H ₂ O)	Appréciation	Test HCl	Chaulage ¹
< 5,3	Fortement acide	-	Nécessaire
5,3-5,8	Acide	-	Nécessaire
5,9-6,7	Faiblement acide	-	D'entretien
6,8-7,2	Neutre	+/-	D'entretien
7,3-7,6	Faiblement alcalin	+	Inutile
> 7,6	Alcalin	+	Inutile

¹ L'opportunité d'un chaulage est évaluée surtout pour les terres assolées. En culture fourragère, la composition botanique du site doit être prise en compte (cf. chapitre 8.2).

5 Analyses de plantes

Outre l'analyse de sol, il est possible d'analyser les plantes durant la période de végétation. Cette technique fait partie des moyens complémentaires à disposition pour piloter la fumure en cours de végétation ou pour diagnostiquer un problème de fertilisation.

En **grandes cultures**, l'analyse de plantes est principalement utilisée pour la fertilisation azotée en cours de végétation. Les analyses effectuées mesurent directement ou indirectement (par la chlorophylle) l'état de nutrition des plantes ou d'une partie de celles-ci au moment du prélèvement et l'interprétation des résultats consiste à les comparer à des valeurs de référence (littérature spécialisée ou échantillons issus de cultures de référence). L'analyse des plantes fournit une résultante des conditions de nutrition et de prélèvement et, par conséquent, ne renseigne pas sur les circonstances qui ont conduit à l'état nutritionnel constaté. Cette analyse (plantes entières, tiges, feuilles, etc.) permet de vérifier l'effet à court terme des apports de fumure effectués. Il faut aussi savoir que les teneurs en éléments minéraux et constitutifs varient fortement dans le matériel végétal selon le stade phénologique, les conditions climatiques et culturales qui précèdent le prélèvement, ou même le moment du prélèvement dans la journée. Les analyses de végétaux ne peuvent pas être utilisées seules pour établir les corrections d'un plan de fumure.

En **culture fourragère**, en plus des analyses de terre, il est souvent judicieux de tenir compte des analyses de fourrage ainsi que de l'état de la culture et de sa composition botanique pour ajuster la fumure. Les résultats d'analyses du fourrage ne peuvent cependant être interprétés que si l'échantillonnage a été rigoureux et effectué avec le plus grand soin. Lorsque la teneur en potassium du sol est suboptimale (facteur de correction supérieur à 1; voir **tabl.12**), il est conseillé de tenir compte de la teneur en potassium du fourrage pour définir la fumure potassique. D'autre part, les analyses de fourrage permettent également de corriger les normes du potassium excrété par les animaux consommant du fourrage grossier (voir note 5 du tableau 36), de même que la teneur en potassium des engrais de ferme produits (voir note 7 du tableau 39).



6

Fumure phosphatée, potassique et magnésienne



Le calcul de la fumure P, K et Mg se base sur le principe du remplacement des éléments fertilisants prélevés par les plantes dans un sol normalement pourvu. Lors de l'élaboration de ces normes de fumure, d'autres facteurs que les prélèvements ont été pris en compte (chap. 3.2 et 3.3). Les **adaptations de la fumure** en fonction des résultats de l'analyse de sol sont effectuées au moyen des **facteurs de correction** décrits aux chapitres 6.1 à 6.3.

En Suisse, la détermination de P, K et Mg se fait selon différentes méthodes d'analyse du sol pour définir les besoins en engrais. Ces éléments peuvent être extraits d'une part par une méthode «douce» (eau saturée de CO₂ pour P et K, chlorure de calcium pour Mg) et, d'autre part, par une méthode «agressive» comme l'acétate d'ammonium + EDTA. Avec les extractants «doux», ce sont principalement les éléments solubles et rapidement disponibles pour la plante qui sont extraits; cela correspond au facteur «intensité» (Frossard *et al.*, 2004). Dans le cas d'un extractant «agressif», on part du principe que les éléments extraits sont potentiellement utilisables par la plante; cela correspond au facteur «quantité» (soit les éléments nutritifs susceptibles, à un moment ou à un autre, de passer dans la solution du sol et d'être mobilisés par les plantes) (Frossard *et al.*, 2004). Selon les caractéristiques de sol, cette estimation n'est que partiellement valable avec le procédé d'extraction à l'acétate d'ammonium + EDTA.

Les deux types d'extraction ont des avantages et des inconvénients; il n'y a pas d'extractant approprié à toutes les situations. Cela signifie qu'avec la diversité des sols existant en Suisse, chaque méthode est plus ou moins indiquée pour recommander une fumure correspondant aux besoins de la culture et tenant compte des critères écologiques.

En règle générale, l'interprétation des résultats d'analyse de terre est basée sur des essais de longue durée en plein champ sur différents sites. La relation entre la teneur du sol et celle de la plante ainsi que la réaction de la plante à la fumure sont des critères déterminants pour une interprétation fiable des résultats d'analyses de terre.

Lors de la détermination des facteurs de correction de la norme de fumure, il faut tenir compte à la fois des teneurs en éléments nutritifs et en argile (**tabl.11 à 16**) ainsi que de la teneur en matière organique du sol (**tabl.10**).

Tableau 10. Détermination des facteurs de correction de la norme de fumure dans des sols contenant plus de 10% de matière organique.

La teneur en matière organique correspond à la teneur en carbone organique (Corg), multipliée par 1,725.

Teneur en matière organique (%)	Teneur en argile de la terre fine (%)	Utiliser les facteurs de correction des tableaux 11 à 16. Choisir, dans les colonnes, les teneurs en argile ci-dessous (au lieu du taux d'argile effectif)
10-20	< 30	10-15% argile
20-40	< 30	5-10% argile
> 40	–	5-10% argile
–	> 30	Teneur en argile réelle

6.1 Correction de la fumure phosphatée et potassique basée sur la méthode CO₂

La méthode CO₂, utilisée en Suisse depuis des décennies, est indiquée pour déterminer les formes de P du sol disponibles pour la plante. L'appréciation des teneurs en P mesurées découle d'un grand nombre d'essais aux champs. Dans la plupart des cas, une bonne relation a été constatée entre les teneurs en P du sol, d'une part, et les rendements et les teneurs mesurées dans les plantes, d'autre part.

L'adaptation de la norme de fumure à la richesse en éléments nutritifs de chaque parcelle s'effectue, pour la méthode CO₂, à l'aide des facteurs de correction des **tableaux 11 à 13**. La détermination de ces facteurs s'appuie sur la richesse en P et K

ainsi que sur la teneur en argile du sol. Ces facteurs de correction sont valables pour la plupart des sols du Plateau suisse, des Préalpes et du Jura possédant un taux de matière organique inférieur à 10%. Pour les sols ayant un taux de matière organique supérieur à 10%, il faut recourir au **tableau 10**. Dans cette nouvelle édition, les corrections de la norme de fumure ont été adaptées sur la base des résultats actuels des essais de plein champ.

L'expérience a démontré que les limons provenant de l'altération des schistes des Grisons ainsi que les sols sableux acides du Tessin requièrent une appréciation particulière en ce qui concerne le P. Les facteurs de correction de la fumure phosphatée de ces sols sont consignés dans le **tableau 11**.

Les facteurs de correction définis doivent être utilisés pour la fumure de chaque culture jusqu'à la prochaine analyse de terre.

Tableau 11. Correction de la norme de fumure corrigée phosphatée pour les grandes cultures (tabl. 2) et les herbages (tabl. 3) en fonction de la teneur en P (indice P, méthode CO₂) et du taux d'argile des sols dont la teneur en matière organique est inférieure à 10%. Pour des prairies peu intensives, le facteur de correction maximal est de 1,0.

Indice P	Teneur en argile de la terre fine (%) / avec une teneur en humus < 10%										Indice P	Sols spéciaux (limon) ¹	Sols spéciaux (sable) ²
	0-4,9	5-9,9	10-14,9	15-19,9	20-24,9	25-29,9	30-34,9	35-39,9	40-44,9	> 45			
0,0-0,9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2	0,0-0,9	1,5	1,5
1,0-1,9	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,0-1,9	1,5	1,4
2,0-2,9	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	2,0-2,9	1,5	1,3
3,0-3,9	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	3,0-3,9	1,4	1,2
4,0-4,9	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	4,0-4,9	1,4	1,1
5,0-5,9	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	5,0-5,9	1,4	1,0
6,0-6,9	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	6,0-6,9	1,3	1,0
7,0-7,9	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,6	7,0-7,9	1,3	1,0
8,0-8,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,6	0,4	8,0-8,9	1,3	0,9
9,0-9,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,6	0,4	0,2	9,0-9,9	1,2	0,8
10,0-10,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,6	0,4	0,2	0,0	10,0-10,9	1,2	0,7
11,0-11,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,6	0,4	0,2	0,0		11,0-11,9	1,2	0,6
12,0-12,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,4	0,2	0,0			12,0-12,9	1,1	0,5
13,0-13,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,6	0,2	0,0				13,0-13,9	1,1	0,4
14,0-14,9	0,9	0,8	0,8	0,6	0,4	0,0					14,0-14,9	1,0	0,3
15,0-15,9	0,8	0,8	0,6	0,4	0,2						15,0-15,9	1,0	0,2
16,0-16,9	0,8	0,7	0,6	0,2	0,0						16,0-16,9	1,0	0,2
17,0-17,9	0,7	0,7	0,4	0,2							17,0-17,9	0,9	0,0
18,0-18,9	0,7	0,6	0,4	0,0							18,0-18,9	0,9	
19,0-19,9	0,6	0,6	0,2								19,0-19,9	0,8	
20,0-20,9	0,6	0,5	0,2								20,0-20,9	0,8	
21,0-21,9	0,5	0,5	0,2								21,0-21,9	0,7	
22,0-22,9	0,5	0,4	0,0								22,0-22,9	0,7	
23,0-23,9	0,4	0,4									23,0-23,9	0,6	
24,0-24,9	0,4	0,2									24,0-24,9	0,6	
25,0-25,9	0,3	0,2									25,0-25,9	0,5	
26,0-26,9	0,3	0,0									26,0-26,9	0,5	
27,0-27,9	0,2										27,0-27,9	0,4	
28,0-28,9	0,2										28,0-28,9	0,3	
29,0-29,9	0,2										29,0-29,9	0,2	
≥ 30,0	0,0										≥ 30,0	0,0	

1 Schistes des Grisons ayant un taux d'argile < 25% et un taux de silt > 40%.

2 Sols sableux acides du Tessin ayant une teneur en argile < 10%, une teneur en sable > 40% et un pH < 5,9.

Tableau 12. Correction de la norme de fumure corrigée potassique pour les grandes cultures (tabl. 2) et les herbages (tabl. 3) en fonction de la teneur en K (indice K, méthode CO₂) (K₂O) et du taux d'argile des sols dont la teneur en matière organique est inférieure à 10%. Pour les prairies intensives et mi-intensives, le facteur de correction maximal est de 1,2. Pour les prairies peu intensives, le facteur de correction maximal est de 1,0. Lorsque la teneur en potassium du fourrage des prairies mi-intensives et intensives est supérieure à 25 g K/kg MS, il ne faut pas dépasser le facteur de correction de 1,0.

Indice K	Teneur en argile de la terre fine du sol (%)									
	0-4,9	5-9,9	10-14,9	15-19,9	20-24,9	25-29,9	30-34,9	35-39,9	40-44,9	≥ 45
0-0,49	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1
0,50-0,74	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0
0,75-0,99	1,5	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0
1,00-1,24	1,5	1,5	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
1,25-1,49	1,5	1,5	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9
1,50-1,74	1,5	1,4	1,3	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8
1,75-1,99	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7
2,00-2,24	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
2,25-2,49	1,3	1,2	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
2,50-2,74	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4
2,75-2,99	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,6	0,5	0,3	0,2
3,00-3,24	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,7	0,5	0,4	0,2	0,0
3,25-3,49	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,5	0,3	0,0	
3,50-3,74	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,6	0,4	0,2		
3,75-3,99	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,5	0,3	0,0		
4,00-4,24	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,5	0,3			
4,25-4,49	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,4	0,2			
4,50-4,74	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,3	0,0			
4,75-4,99	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,3				
5,00-5,24	0,8	0,7	0,6	0,6	0,4	0,2				
5,25-5,49	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,0				
5,50-5,74	0,8	0,7	0,6	0,5	0,3					
5,75-5,99	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3					
6,00-6,24	0,7	0,6	0,5	0,4	0,2					
6,25-6,49	0,7	0,6	0,5	0,3	0,0					
6,50-6,74	0,6	0,5	0,4	0,3						
6,75-6,99	0,6	0,5	0,4	0,2						
7,00-7,24	0,6	0,5	0,4	0,2						
7,25-7,49	0,5	0,4	0,3	0,0						
7,50-7,74	0,5	0,4	0,3							
7,75-7,99	0,5	0,4	0,2							
8,00-8,24	0,4	0,3	0,2							
8,25-8,49	0,4	0,3	0,0							
8,50-8,74	0,4	0,3								
8,75-8,99	0,3	0,2								
9,00-9,24	0,3	0,2								
9,25-9,49	0,3	0,0								
9,50-9,74	0,2									
9,75-9,99	0,2									
10,00-10,24	0,2									
≥ 10,25	0,0									

L'interprétation des résultats d'analyse de même que la correction de la fumure sont effectuées, comme pour le potassium, en tenant compte de la teneur en argile du sol. Vu les caractéristiques de la solution d'extraction, la teneur optimale du sol (facteur de correction 1,0) augmente avec le taux d'argile.

Tableau 13. Correction de la norme de fumure corrigée magnésienne pour les grandes cultures (tabl.2) et les herbages (tabl.3) en fonction de la teneur en Mg (indice Mg, méthode CaCl_2) et du taux d'argile des sols dont la teneur en matière organique est inférieure à 10%. Pour les prairies peu intensives, le facteur de correction maximal est de 1,0.

Indice Mg	Teneur en argile de la terre fine du sol (%)									
	0-4,9	5-9,9	10-14,9	15-19,9	20-24,9	25-29,9	30-34,9	35-39,9	40-44,9	≥ 45
0-1,9	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
2-2,9	1,2	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
3-3,9	1,2	1,2	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
4-4,9	1,0	1,2	1,2	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
5-5,9	1,0	1,0	1,2	1,2	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,6
6-6,9	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,4	1,6	1,6	1,6	1,6
7-7,9	0,8	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,4	1,4	1,6	1,6
8-8,9	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,4	1,4	1,4	1,6
9-9,9	0,6	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,4	1,4	1,4
10-10,9	0,6	0,6	0,8	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,4	1,4
11-11,9	0,4	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2
12-12,9	0,2	0,4	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2
13-13,9	0,0	0,4	0,6	0,6	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2
14-14,9		0,2	0,4	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0
15-15,9		0,0	0,4	0,4	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0
16-16,9			0,2	0,4	0,6	0,6	0,8	1,0	1,0	1,0
17-17,9			0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0
18-18,9				0,0	0,4	0,4	0,6	0,8	0,8	1,0
19-19,9					0,2	0,4	0,6	0,6	0,8	0,8
20-20,9					0,0	0,2	0,4	0,6	0,6	0,8
21-21,9						0,0	0,4	0,6	0,6	0,6
22-22,9							0,2	0,4	0,6	0,6
23-23,9							0,0	0,4	0,4	0,6
24-24,9								0,2	0,4	0,4
25-25,9								0,0	0,4	0,4
26-26,9									0,2	0,4
27-27,9									0,0	0,2
28-28,9										0,2
≥ 29										0,0

6.3 Correction de la fumure phosphatée, potassique et magnésienne basée sur l'extrait à l'acétate d'ammonium + EDTA (AAE10)

De nombreuses recherches relatives aux processus chimiques lors de l'extraction à l'acétate d'ammonium + EDTA dans un rapport de 1:10 (AAE10) ont démontré que l'effet de cet extractant est différent selon que les sols sont riches ou pauvres en calcium. Cela se marque surtout lors de la détermination du phosphore (Stünzi, 2006). Dans des sols très pauvres en calcaire, la faible quantité de Ca^{2+} extrait en solution est complexée par l'EDTA, empêchant une précipitation P-Ca et laissant le P extrait libre en solution. Quand la concentration en Ca^{2+} est très faible, des phosphates métalliques supplémentaires (fraction de réserve) peuvent aussi être solubilisés par l'EDTA. De plus, cette fraction dépend de la composition minérale du sol et ne peut pas être déterminée dans l'extrait AAE10. Avec une teneur en calcaire croissante, la solubilité de P dans l'extrait AAE10 diminue progressivement; selon l'échantillon, elle peut être réduite de manière légère à forte (jusqu'à 1/20).

Tableau 14. Correction de la norme de fumure corrigée (tabl.2 et 3) phosphatée en fonction de la teneur en P (mg P/kg, méthode acétate d'ammonium+EDTA, AAE10-P) et en argile du sol, pour les sols non calcaires (test préalable négatif ou pH < 6,8) dont la teneur en matière organique est inférieure à 10%.

Pour les **sols calcaires** (test préalable positif ou pH > 6,8), utiliser impérativement la méthode CO₂ pour déterminer la teneur en P. Pour les prairies peu intensives, le facteur de correction maximal est de 1,0.

AAE10-P (mg P/kg)	Teneur en argile de la terre fine du sol (%)									
	0-4,9	5-9,9	10-14,9	15-19,9	20-24,9	25-29,9	30-34,9	35-39,9	40-44,9	≥ 45
0-9,9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
10-14,9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
15-19,9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,2	1,2	1,2	1,2
20-24,9	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
25-29,9	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
30-34,9	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
35-39,9	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
40-44,9	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
45-49,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50-54,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8
55-59,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8
60-64,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
65-69,9	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,4	0,4
70-74,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,4	0,4	0,4	0,4
75-79,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
80-84,9	0,8	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0
85-89,9	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0		
90-94,9	0,4	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0				
95-99,9	0,4	0,0	0,0	0,0						
100-104,9	0,0									
105-109,9										
≥ 110										

Tableau 15. Correction de la norme de fumure corrigée (tabl.2 et 3) potassique en fonction de la teneur en K (mg K/kg, méthode acétate d'ammonium+EDTA, AAE10-K) et en argile pour les sols dont la teneur en matière organique est inférieure à 10%.

Pour les prairies intensives et mi-intensives, le facteur de correction maximal est de 1,2. Pour les prairies peu intensives, le facteur de correction maximal est de 1,0.

Lorsque la teneur en potassium du fourrage des prairies mi-intensives et intensives est supérieure à 25 g K/kg MS, il ne faut pas dépasser le facteur de correction de 1,0.

AAE10-K (mg K/kg)	Teneur en argile de la terre fine du sol (%)									
	0-4,9	5-9,9	10-14,9	15-19,9	20-24,9	25-29,9	30-34,9	35-39,9	40-44,9	≥ 45
0-39,9	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2
40-59,9	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,0
60-79,9	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0
80-99,9	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0
100-119,9	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
120-139,9	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
140-159,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8
160-179,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8
180-199,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6
200-219,9	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6
220-239,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6
240-259,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4
260-279,9	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4
280-299,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,2
300-319,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2
320-339,9	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,0
340-359,9	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	
360-379,9	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0		
380-399,9	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0			
400-419,9	0,2	0,2	0,0	0,0						
≥ 420	0,0	0,0								

Tableau 16. Correction de la norme de fumure corrigée (tabl. 2 et 3) magnésienne en fonction de la teneur en Mg (mg Mg/kg, méthode acétate d'ammonium+EDTA, AAE10-Mg) et en argile pour les sols dont la teneur en matière organique est inférieure à 10% et le pH < 6,8. Pour sols calcaires (test préalable positif ou pH > 6,8), utiliser impérativement la méthode CaCl₂. Pour les prairies peu intensives, le facteur de correction maximal est de 1,0.

AAE10-Mg (mg Mg/kg)	Teneur en argile de la terre fine du sol (%)									
	0-4,9	5-9,9	10-14,9	15-19,9	20-24,9	25-29,9	30-34,9	35-39,9	40-44,9	≥ 45
0-49,9	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,6	1,6
50-74,9	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,6
75-99,9	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4
100-124,9	0,8	0,8	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4
125-149,9	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4
150-174,9	0,4	0,4	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2
175-199,9	0,4	0,4	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2
200-224,9	0,2	0,2	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2
225-249,9	0,2	0,2	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0
250-274,9	0,0	0,0	0,4	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0
275-299,9			0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0
300-324,9			0,2	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0
325-349,9			0,2	0,2	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,8
350-374,9			0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8
375-399,9			0,0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,6	0,6
400-424,9				0,0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,6
425-449,9					0,0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4
450-474,9						0,0	0,2	0,2	0,2	0,4
475-499,9							0,0	0,2	0,2	0,2
500-524,9								0,0	0,2	0,2
525-549,9									0,0	0,2
≥ 550										0,0

Les processus chimiques décrits auparavant expliquent le manque de concordance entre les déterminations du P par les méthodes CO₂ et AAE10 (voir DBF 2001). Parallèlement à la méthode CO₂, la méthode AAE10 a été testée dans des essais en plein champ. Dans des sols non calcaires, les relations entre teneurs du sol, rendements et teneurs dans les végétaux sont semblables pour les deux méthodes. Dans les sols acides avec de fortes teneurs en phosphates de Fe et d'Al, il existe certaines incertitudes dans l'interprétation de la teneur en P lors de l'extraction par AAE10, car il n'est pas possible d'évaluer si et combien de métallos-phosphates minéraux ont été libérés pendant l'extraction. Dans de tels sols, une extraction par AAE10 donne parfois des teneurs en P non reproductibles. Dans des sols calcaires, les relations entre les teneurs du sol déterminées par les deux méthodes et la réaction des plantes sont parfois semblables, parfois très différentes. Avec AAE10, la teneur en phosphore disponible pour les plantes peut tout aussi bien être sous-évaluée que surévaluée. Comme on ne peut pas savoir pour quels sites quels processus chimiques se produisent pendant l'extraction, l'utilisation de la méthode AAE10 en sols calcaires ne permet pas d'obtenir des informations fiables quant aux besoins en P.

La situation semble être la même pour le magnésium, mais trop peu de résultats fiables sont actuellement disponibles pour l'affirmer avec certitude. De plus, des comparaisons avec la méthode CaCl₂ (utilisée dans de nombreux pays) montrent que, pour les sols calcaires, des différences importantes existent quant à la teneur en Mg extrait selon les deux méthodes: CaCl₂ et AAE10. Les différences observées entre les deux méthodes ne s'expliquent pas par la fumure pratiquée au cours des années précédentes, la structure de l'exploitation et les teneurs en Mg des plantes mais seulement par le rôle de l'extractant: AAE10 solubilise des formes non échangeables du magnésium sous forme de dolomite alors que le CaCl₂ n'extrait que des formes échangeables.

L'adaptation de la norme de fumure corrigée à l'état des éléments nutritifs de chaque parcelle pour P, K et Mg s'effectue à l'aide des facteurs de correction des **tableaux 14 à 16**, en prenant en compte la richesse du sol en P, K et Mg ainsi que la teneur en argile. Pour les sols dont la teneur en matière organique est supérieure à 10%, il faut tenir compte des données du **tableau 10**.

Les facteurs de correction obtenus s'appliquent à la fumure de chaque culture jusqu'à la prochaine analyse de terre.

6.4 Remarques particulières concernant l'utilisation d'engrais phosphatés, potassiques et magnésiens

Les engrais minéraux phosphatés s'appliquent en général avant le travail du sol ou la préparation du lit de semence. Concernant la forme des phosphates, il faut tenir compte des informations qui se trouvent dans les **tableaux 56 et 59**.

Pour éviter une consommation de luxe de potassium par certaines plantes fourragères, qui entraîne en général une réduction de l'absorption du magnésium, les apports de potassium minéral de plus de 200 kg K_2O /ha doivent être fractionnés en deux fois (par exemple au départ de la végétation, puis après la seconde utilisation). En grandes cultures, les apports de potassium sous forme minérale doivent se limiter à 300 kg K_2O /ha afin d'éviter d'éventuels dégâts d'excès de sel sur les plantes sensibles. Pour des doses supérieures, il est préférable d'en apporter une partie par les engrais de ferme ou d'en appliquer une fraction lors de l'installation d'un engrais vert. Dans les sols sableux, le potassium doit être apporté à la fin de l'hiver ou au printemps, afin d'éviter sa migration en profondeur dans des couches de sol non colonisées par les racines. Lorsqu'on choisit des engrais minéraux, on tient compte de leurs caractéristiques; ces dernières figurent dans les **tableaux 56 et 59**.

Le magnésium est assez facilement lessivé dans le sol. En conséquence, il convient de gérer les engrais magnésiens solubles à l'eau (sulfate de magnésium) comme l'azote: les appliquer au printemps, avant un fort prélèvement par les plantes. Pour améliorer l'approvisionnement du sol en magnésium à moyen et long terme, il doit être apporté au moins en partie sous une forme peu soluble (**tabl. 56**) comme le dioxyde de magnésium ou le carbonate de magnésium ($MgCO_3$ de la dolomie).

Lorsque le facteur de correction est inférieur à 0,8, les engrais de ferme issus de fourrages produits sur l'exploitation peuvent être appliqués même si le sol contient d'importantes réserves d'éléments fertilisants. Toutefois, la quantité d'éléments fertilisants ne devrait pas dépasser 80% de la norme (facteur de correction 0,8).

Par contre, les engrais de ferme produits à partir de fourrages étrangers à l'exploitation (y compris les fourrages concentrés!) ainsi que les engrais provenant de l'extérieur de l'exploitation ne peuvent être appliqués qu'en quantités correspondant aux indices de fertilité du sol.

7

Fumure azotée



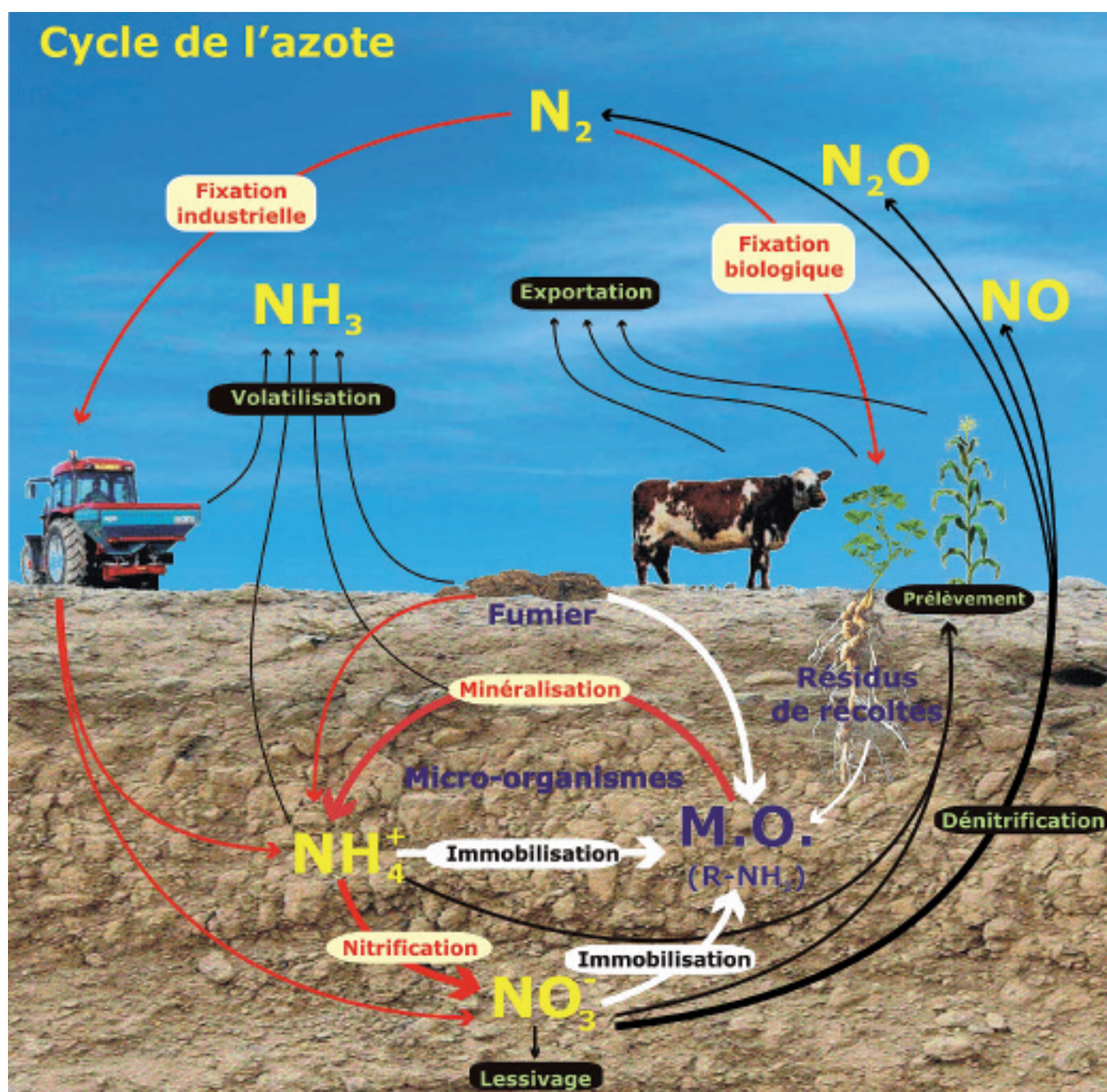
7.1 Grandes cultures

Les principaux paramètres de calcul de la fumure azotée sont: (i) le besoin momentané des cultures, (ii) la dynamique de la minéralisation de la matière organique du sol et des engrais organiques apportés (fumier, purin, engrais verts et engrais de recyclage) et (iii) l'importance des pertes d'azote par lessivage, volatilisation et dénitrification (**fig. 4**).

Tous ces facteurs interagissent et font qu'il n'existe, actuellement, aucune méthode parfaite pour optimiser la fumure azotée. Trois méthodes sont décrites ici à l'intention des utilisateurs de ce document, qui proposent des approches différentes:

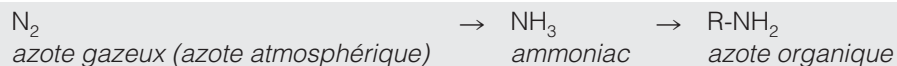
1. *Méthode par estimation ou méthode des normes corrigées*, basée sur une prise en compte des facteurs d'influence à long terme
2. *Méthode par analyse de sol ou méthode N_{min}* , basée sur le dosage de l'azote minéral présent dans le sol à des périodes décisives pour la croissance des plantes
3. *Méthode de pilotage de la fumure*, basée sur l'analyse de plantes par tests rapides ou observation des cultures en cours de végétation.

Fig. 4. Cycle de l'azote à l'échelle d'une parcelle.

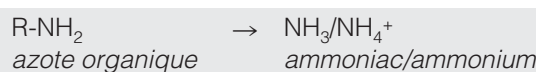


Dans le cycle de l'azote, les processus de fixation, minéralisation et nitrification augmentent l'azote disponible dans le sol alors que la dénitrification, la volatilisation, l'immobilisation, le lessivage et le prélèvement par les plantes engendrent une baisse permanente ou temporaire de l'azote dans la zone du système racinaire.

La fixation est le processus de conversion de l'azote atmosphérique en une forme disponible pour les plantes. La fixation peut être soit industrielle (production des engrais commerciaux), soit biologique (par les légumineuses). La fixation de l'azote demande de l'énergie, des enzymes et des minéraux. Par conséquent, si de l'azote disponible se trouve dans le sol, la plante utilisera plutôt cette forme au lieu de fixer l'azote de l'air.



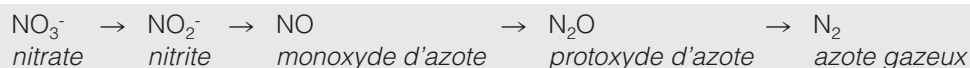
La minéralisation est le processus par lequel les microorganismes décomposent l'azote organique (engrais de ferme, résidus de cultures, matière organique du sol) en ammoniac (NH_3). L'intensité de la minéralisation dépend de la teneur et de la qualité de la matière organique du sol, du précédent cultural, de l'arrière-effet des engrais organiques (engrais de ferme, résidus de récoltes, engrais verts), du climat (température, humidité) et de la présence d'oxygène dans le sol (aération).



La nitrification est le processus par lequel les microorganismes (*nitrosomonas* et *nitrobacter*) convertissent l'ammonium en nitrite puis en nitrate pour obtenir de l'énergie. Le nitrate est la forme la plus disponible de l'azote du sol mais, de ce fait, elle est très sujette au lessivage.



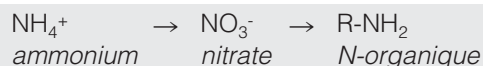
La dénitrification est le résultat de la conversion des nitrates en une forme gazeuse de l'azote, tel que le monoxyde d'azote, le protoxyde d'azote et le gaz nitrogène. Comme la dénitrification survient en absence d'oxygène, les émissions de N_2O sont plus importantes dans les sols lourds, compactés et mal drainés, ou dans des zones d'accumulation d'eau.



La volatilisation de l'ammoniac dans l'air survient principalement dans les heures qui suivent l'application en surface d'un engrais ammoniacal. Ce phénomène concerne particulièrement les fumiers et lisiers qui contiennent beaucoup de NH_4^+ , ce qui peut réduire fortement leur efficacité fertilisante. Une incorporation, même superficielle, le jour de l'application du fumier, du lisier ou du purin est le meilleur moyen d'empêcher la volatilisation. Les conditions atmosphériques et l'équipement utilisé ont également une grande influence.



L'immobilisation est le processus inverse de la minéralisation. L'immobilisation est reliée au prélèvement des nitrates et de l'ammonium par les microorganismes du sol qui entraîne une réduction de leur disponibilité pour les plantes.



Le lessivage des nitrates se produit quand les sols reçoivent plus d'eau que ce qu'ils peuvent retenir. L'eau en surplus s'infiltre dans le sol et entraîne avec elle les nitrates, qui atteignent le système de drainage souterrain puis la nappe phréatique ou le cours d'eau. Ce phénomène est plus marqué dans les sols à texture légère et peu profonds. La profondeur à laquelle les nitrates descendent dépend de la quantité d'eau qui s'infiltre dans le sol, de l'état d'humidité du sol avant la pluie et du type de sol. Les fertilisants azotés sous forme de nitrates sont sujets à ces pertes dès leur application. Un peu d'ammonium peut aussi être lessivé dans les sols sableux.

Le prélèvement par les plantes est le premier objectif de la gestion de la fertilisation azotée (minérale et organique). Pour augmenter l'efficacité d'utilisation de l'azote et ainsi réduire les pertes dans l'environnement et les pertes économiques qui en découlent, l'agriculteur doit optimiser surtout trois aspects: (i) la dose d'apport (plusieurs études ont démontré qu'au-delà du niveau de fertilisation optimale, le coefficient d'utilisation de l'azote par différentes cultures diminue beaucoup et que le risque de pertes dans l'environnement s'accroît considérablement), (ii) le moment d'application (**voir tabl. 26**) et (iii) les conditions de sol: la plupart des processus de transformation de l'azote dépendent de l'activité biologique du sol. Les conditions climatiques et les propriétés physico-chimiques du sol jouent un rôle très important. L'efficacité de la fertilisation azotée sera meilleure si le sol a une bonne structure et s'il est bien drainé.

7.1.1 Correction de la fumure azotée en fonction du rendement

Dans certaines situations, une fumure azotée supérieure à la norme peut permettre d'atteindre des rendements plus élevés. Les résultats de récents essais conduits par ACW et ART sur une large palette de types de sol et de conditions climatiques rencontrés en Suisse montrent qu'il est possible de renforcer la fumure azotée pour un rendement plus élevé que le rendement moyen pris comme référence pour l'établissement de la norme (**tabl. 1**). Lorsque les rendements d'une parcelle sont systématiquement (par exemple au moins trois fois sur cinq ans) plus élevés que la norme et que la fumure azotée apparaît comme le facteur limitant principal, une correction peut être envisagée. A titre indicatif, ces situations particulières peuvent se rencontrer dans les meilleures zones de grandes cultures, sur des exploitations sans bétail, avec des sols profonds mais dont la teneur en matière organique est moyenne à faible.

Selon ce même principe, lorsque les rendements sont régulièrement inférieurs aux rendements de référence, il convient de réduire la dose de fumure. Cela est surtout valable dans les zones marginales de grandes cultures ou les conditions de production extensive (bio, extenso). Les cultures dont la fumure azotée peut être modifiée en fonction du rendement attendu sont présentées dans le **tableau 17**. Ce tableau indique la correction à apporter par unité de production supplémentaire ou inférieure.

Tableau 17. Correction de la fumure azotée par rapport à la norme en fonction d'un rendement cible plus ou moins élevé que le rendement moyen de référence.

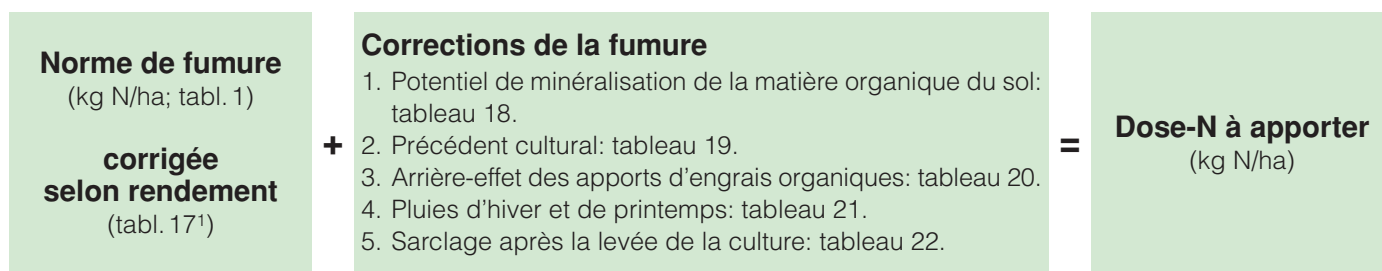
Exemple: pour un rendement attendu de 75 dt/ha de blé panifiable d'automne, ajouter 15 kg N à la norme.

Culture	Correction de la fumure azotée en fonction du rendement (kg N/ dt grain)	Rendement cible maximal (dt grain/ha)
Blé panifiable d'automne	1,0	80
Blé fourrager d'automne	1,0	95
Orge d'automne	0,7	90
Seigle d'automne	0,8	80
Seigle hybride d'automne	1,2	90
Triticale d'automne	0,3	95
Colza d'automne	4,0	40

Pour toutes les autres cultures et sur la base des essais récents, aucune correction de la fumure azotée ne peut être proposée ou justifiée lorsque les rendements sont régulièrement plus élevés. Mais à l'inverse, lorsque les rendements sont régulièrement inférieurs, la correction de fumure est proportionnelle à la différence de rendement. Toutefois, il convient d'être particulièrement vigilant sur les corrections à apporter, en particulier pour les cultures sarclées de printemps (betterave, maïs, pomme de terre). En effet, les essais ont montré que ces espèces réagissent fortement à l'état de fertilité du sol et aux influences du climat. Une correction par un renforcement ou une réduction de la norme peut s'avérer nécessaire sur la base des **tableaux 18 à 22** (cf. la méthode des normes corrigées) présentés plus loin.

Pour la pomme de terre, des corrections peuvent être proposées en fonction des variétés pour assurer le rendement et la qualité de la récolte (voir chapitre 15). En effet, les variétés Agria, Derby, Naturella, Nicola, Pamela et Panda nécessitent 40 kg N/ha de moins que la norme tandis que les variétés Charlotte, Lady Claire et Lady Rosetta en requièrent généralement 30 kg de plus.

Fig. 5. Présentation schématique de la méthode des normes corrigées.



1 Pour toutes les cultures présentées dans le tableau 17, la norme de fumure est corrigée en fonction du rendement.

Tableau 18. Correction de la fumure azotée en fonction du potentiel de minéralisation de la matière organique (MO) du sol (appréciation du N_{min} , voir chap. 7.1.3).

Potentiel de minéralisation de la MO du sol	Teneur en matière organique (MO) du sol (%)			Corrections par rapport à la norme (kg N/ha)
	Argile < 15%	Argile 15-30%	Argile > 30%	
Faible à moyen	< 1,2	< 1,8	< 2,5	0 à +40
Moyen	1,2-2,9	1,8-3,9	2,5-5,9	0
Moyen à élevé	3,0-6,9	4,0-7,9	6,0-9,9	0 à -40
Élevé à très élevé	7,0-19,9	8,0-19,9	10,0-19,9	-40 à -80
Très élevé	≥ 20,0	≥ 20,0	≥ 20,0	-80 à -120

Tableau 19. Correction de la fumure azotée en fonction du précédent cultural.

Précédent cultural	Corrections pour la culture à mettre en place (kg N/ha)	
	Labour/enfouissement	
	Automne	Printemps
Prairie naturelle ou temporaire (3 ans et plus)	-30	-40
Prairie temporaire (2 ans)	-20	-30
Prairie temporaire de 1 an	-10	-20
Prairie naturelle ou temporaire (plus de 3 ans) comme anté-précédent ¹	-10	-10
Prairie temporaire broyée avant épiaison des graminées	–	-30 à -60 ²
Prairie temporaire broyée avant floraison des graminées	–	-20 à -40 ²
Céréale ou maïs (paille enfouie) suivie:		
– d'une culture d'automne	+20	
– d'une culture de printemps en février-mars	+10	
Légumineuses à graines (pois, féverole et lupin) suivies:		
– d'une culture d'automne	-20	
– d'une culture de printemps	-10	
Betterave (feuilles enfouies)		-20
Engrais vert non hivernant (phacélie, moutarde jaune, etc.)	-10	0
Engrais vert non hivernant à base de légumineuses	-20	-10
Engrais vert hivernant (colza, navette, etc.)	0	-20
Engrais vert hivernant à base de légumineuses	0	-30
Chanvre fibre		-10
Pomme de terre		-10
Autres précédents ³		0

1 Cette correction peut être cumulée avec une autre correction de ce tableau.

2 Valeur basse: peu de légumineuses; valeur élevée: beaucoup de légumineuses.

3 Céréales (paille récoltée), maïs-ensilage, colza, tournesol, soja, tabac, cultures dérobées, etc.

A partir des normes du **tableau 1** et des corrections du **tableau 17**, l'utilisateur doit gérer les corrections proposées dans les **tableaux 18 à 22**. La dose d'azote à apporter est calculée selon le schéma présenté à la **figure 5**. Ces corrections concernent le potentiel de minéralisation de la matière organique du sol, l'effet du précédent cultural, les arrière-effets des apports d'engrais organiques, les effets du climat et du sarclage après la levée de la culture.

Tableau 20. Correction de la fumure azotée en fonction des arrière-effets des apports d'engrais organiques.

L'efficacité de l'azote des engrais de ferme et des engrais de recyclage, l'année de leur application, est donnée dans le tableau 40.

Engrais organique	Proportion de l'azote total contenu dans les engrais organiques (%) utilisable l'année suivant celle de l'apport, à prendre en compte dans la fumure
Lisier et purin (bovins)	-5
Fumier au tas et fumier de stabulation libre	-10
Fumier composté	-15
Compost de fumier	-20
Fumier de cheval	-5
Fumier de moutons ou de chèvres	-10
Lisier et fumier de porcs	-10
Crottes de poules (tapis roulant pour fientes)	-10
Fumier de poules (au sol)	-10
Fumier de volaille (à l'engrais) poulet, dinde	-5
Compost	0
Chaux d'Aarberg	-10

Tableau 21. Correction de la fumure azotée en fonction des pluies d'hiver et de printemps.

Genre de culture	Corrections de la fumure azotée (kg N/ha)			
	Période de précipitations et intensité			
	Repos hivernal (novembre-janvier)		Reprise de la végétation et semis (mars-mai)	
	Faible (< 60 mm/mois)	Forte (> 90 mm/mois)	Faible (< 60 mm/mois)	Forte (> 90 mm/mois)
– Colza d'automne	-10	+10	0	0
– Céréale d'automne	-20	+20	0	0
– Céréale de printemps	-20	0	-10	+10
– Pomme de terre précoce	-20	+10	-10	+30
– Pomme de terre (plant, consommation et industrielle), betterave et maïs	0	+10	-10	+30

Tableau 22. Libération d'azote complémentaire liée à des sarclages répétés après la levée de la culture, selon le taux de matière organique du sol.

Pour un seul sarclage de la betterave, de la pomme de terre et du maïs, il n'y a pas lieu d'utiliser ces corrections, car la majorité des essais effectués ont été réalisés sur des cultures ayant subi un sarclage. Cette valeur est par conséquent comprise dans la norme.

Matière organique du sol (%)	Correction de la fumure (kg N/ha)
Inférieur à 8	-10
8 à 20	-15
Plus de 20	-20

En principe, une méthode basée sur des valeurs mesurées fournit des résultats plus précis qu'une méthode basée sur des valeurs estimées. Ce gain d'information doit cependant être mis en balance avec les coûts, en particulier, pour cette méthode, le travail pour la prise des échantillons, leur acheminement jusqu'au laboratoire et les frais d'analyse.

La détermination de l'azote minéral du sol ($N_{\min}$) tient compte aussi bien de l'azote nitrique que de l'azote ammoniacal disponible dans les échantillons représentatifs de différentes couches du sol. Pour une mise en œuvre sûre de la méthode $N_{\min}$, une attention particulière doit être portée sur plusieurs points. Le moment et la profondeur du prélèvement doivent être respectés (**tabl. 23**). Compte tenu des variations possibles dans les caractéristiques du sol, il faut au moins dix à douze piqûres par champ pour que l'échantillon soit représentatif. La proportion de pierres dans les échantillons doit être évaluée objectivement. Les échantillons doivent être acheminés rapidement au laboratoire, bien protégés de tout réchauffement dans une caisse réfrigérée ou congelés.

Le dosage du $N_{\min}$ du sol par des tests rapides, même confirmés, n'est pas recommandé en grandes cultures à cause de l'imprécision des valeurs mesurées.

La dose optimale d'azote à appliquer est calculée en fonction du dosage du $N_{\min}$ de la parcelle et de valeurs de référence. Ces dernières résultent de nombreuses années d'expérimentation, elles sont spécifiques à chaque culture pour un stade de développement déterminé (**tabl. 24 et 25**). Il est à noter que la validité de la méthode est réduite dans les sols ayant plus de 20% de matière organique et que, pour les sols où le niveau de la nappe phréatique est élevé ou variable, elle n'est pas utilisable du tout.

Tableau 23. Stades et profondeurs de prélèvement des échantillons pour la détermination du $N_{\min}$ afin d'optimiser la fumure azotée de différentes cultures.

Cultures	Stade de prélèvement	Profondeur de prélèvement (cm) ¹
Céréales d'automne, colza	Peu avant la reprise de la végétation	0-30, 30-60, 60-90
Céréales de printemps	Du semis au stade 3 feuilles	0-30, 30-60, 60-90
Betterave ²	Stade 4 à 6 feuilles	0-30, 30-60, 60-90
Maïs ²	Stade 5-6 feuilles (ne compter que les feuilles complètement développées!)	0-30, 30-60, 60-90
Pomme de terre ^{2, 3}	Feuillage à environ 10 cm de hauteur	0-30, 30-60

- 1 Dans la pratique, les prélèvements sont souvent limités à 60 cm de profondeur. Dans de tels cas, les valeurs de référence pour le calcul de la fumure N doivent être adaptées en conséquence. La documentation idoine est disponible auprès du laboratoire d'analyse ou auprès du service de vulgarisation.
- 2 La méthode $N_{\min}$ fournit des résultats fiables pour autant que la fumure azotée au semis ou à la plantation de la culture ne dépasse pas 40 kg N/ha.
- 3 Le sondage doit être effectué au milieu de la butte préalablement nivelée.

Tableau 24. Fumure azotée des céréales basée sur les teneurs en $N_{\min}$ du sol (prélèvements de 0 à 90 cm).

Les indications concernant le fractionnement de la fumure azotée ainsi que les quantités maximales par apport figurent dans le tableau 26. Un éventuel excédent entre la dose calculée et le maximum admissible pour le 1^{er} apport est à reporter sur le 2^e apport. Si la valeur calculée pour le 1^{er} apport est négative, il convient d'en tenir compte lors du 2^e, éventuellement du 3^e apport. Une fumure azotée des céréales donnant la priorité au second apport, à la montaison, peut être un avantage sur le plan du rendement; selon les exigences particulières de l'espèce et de la variété, une certaine quantité d'azote peut être déduite du 1^{er} apport pour être reportée sur le second.

Culture	1 ^{er} apport (kg N/ha)	2 ^e apport ¹ (kg N/ha)	3 ^e apport ^{1,2} (kg N/ha)
Blé d'automne	120 moins $N_{\min}$	30	40
Blé de printemps, épeautre	110 moins $N_{\min}$	30	40
Orge d'automne	80 moins $N_{\min}$	30	40
Triticale d'automne	90 moins $N_{\min}$	30	40
Orge et triticale de printemps, seigle d'automne	80 moins $N_{\min}$	30	30
Avoine	100 moins $N_{\min}$	30	30
<i>Ces recommandations ne sont valables que si certaines conditions sont remplies:</i> – Potentiel de rendement du site correspondant aux valeurs du tableau 1 ou supérieures. – Risque de verse minimal (éventuellement utilisation d'un raccourcisseur de paille). – Faible risque de pertes de rendement dues à des maladies ou des ravageurs (choix variétal, technique culturale, rotation des cultures, recours éventuel à des fongicides ou des insecticides). – Sol avec une teneur en matière organique inférieure à 5% et avec une profondeur utile supérieure à 70 cm.			
Pour les cas particuliers suivants, des déductions doivent être appliquées (ces déductions ne sont pas cumulables; la déduction maximale est de 30 kg N/ha):			
Motif de correction	1 ^{er} apport (kg N/ha)	2 ^e apport (kg N/ha)	3 ^e apport (kg N/ha)
Prairie temporaire de plusieurs années ou prairie permanente comme précédent cultural	-20	-10	-20
Sol avec 5 à 20% de matière organique	-10	-20	-20
Profondeur utile du sol inférieure à 70 cm ou potentiel de production du site faible à moyen (zone marginale pour les grandes cultures)	-10	-10	-20
Aucune utilisation de régulateur de croissance	-10 ³ à -20 ⁴	-10	0

1 Selon les conditions particulières de croissance et de développement des cultures, ces doses d'azote peuvent être majorées ou réduites de 10 kg/ha.

2 En cas de forte attaque de maladies ou en cas de production extenso, il faut renoncer au 3^e apport.

3 Orge, triticale, seigle.

4 Blé, épeautre, avoine.

Tableau 25. Fumure azotée des cultures sarclées basée sur les teneurs en $N_{\min}$ du sol (prélèvements de 0 à 90 cm).

Les indications concernant le fractionnement de la fumure azotée ainsi que les quantités maximales par apport figurent dans le tableau 26. Le 1^{er} apport d'azote est appliqué en général au semis ou à la plantation; il peut toutefois être supprimé si le précédent cultural apporte beaucoup d'azote ou si le potentiel de minéralisation du sol est particulièrement élevé. Le 2^e apport est effectué aussitôt après avoir obtenu le résultat de l'analyse $N_{\min}$. (Pour le moment du prélèvement, voir tabl. 23.)

Culture	1 ^{er} apport (kg N/ha)	2 ^e apport (kg N/ha) ¹
Maïs	0-30	$N_{\min} > 120$: 200 moins $N_{\min}$ $N_{\min} < 120$: 180 moins $N_{\min}$
Betteraves sucrières ou fourragères	0-30	200 moins $N_{\min}$
Pommes de terre de consommation ou industrielles	0-30	200 moins $N_{\min}$
Pommes de terre primeur ou plants	0-30	180 moins $N_{\min}$
Colza	0-40 (au semis)	160 moins $N_{\min}$
Corrections liées à une teneur en humus élevée ou à un faible potentiel de rendement du site:		
Motif de correction		
Teneur du sol en matière organique de 5 à 20%	0 à -30	-20 à -40
Potentiel de rendement du site faible à moyen	0	-20 à -40
Il n'y a pas de correction à apporter en relation avec l'arrière-effet de cultures dérobées, d'engrais verts ou d'engrais de ferme. Celui-ci est en grande partie compris dans le $N_{\min}$ mesuré dans le sol.		

1 Un fractionnement en deux apports est recommandé, en particulier sur les sols dont la profondeur utile est inférieure à 70 cm ainsi que dans les régions à précipitations abondantes (plus de 260 mm d'avril à juin). Selon les conditions météorologiques et les conditions de croissance, l'intervalle entre les apports est de deux à quatre semaines.

7.1.4 Méthodes de pilotage de la fumure

En plus de l'analyse de sol, il est aussi possible de recourir à des analyses de plantes durant la période de végétation. Cette technique fait partie des moyens complémentaires à disposition pour une conduite dynamique et affinée de la fumure azotée en cours de végétation ou pour un diagnostic de carence.

Témoin azote: des fenêtres de fumure (surfaces délimitées d'environ un are), recevant une fumure azotée réduite (-40 kg N/ha) ou nulle, peuvent rendre de précieux services comme aide à la décision ou comme instrument de contrôle d'efficacité. Il faut prévoir une nouvelle fenêtre pour chaque apport d'azote. En cultures céréalières, la comparaison de la végétation entre la fenêtre et le reste du champ permet d'optimiser le prochain apport d'azote. Un concept légèrement différent a été adapté à la culture du tournesol: l'*Héliotest*. La comparaison visuelle d'une bande de la parcelle fertilisée au semis avec le reste de la parcelle non fertilisée au semis est le critère de décision. Entre les stades «6 feuilles» et «14 feuilles», on observe toute différence (couleur, hauteur, volume de végétation) entre les plantes fertilisées au semis et le reste du champ. Le stade auquel apparaît la différence permet d'évaluer l'éventuel complément de fumure azotée nécessaire. Plus la différence visuelle apparaît tôt, plus la carence en azote est forte. A partir des fournitures du sol et des besoins de la culture (45 kg N absorbé à maturité dans la plante entière/dt de graines produites), il est possible d'utiliser la méthode des normes corrigées pour calculer la dose d'azote à apporter, en fonction du stade d'apparition de la différence visuelle et de l'objectif de rendement (Pellet et Grosjean, 2007).

Analyse de sucs de plantes: cette méthode mesure par le biais de tests rapides (Test Nitrates, Jubil® ou autres) la teneur en nitrates dans le suc d'une plante. Pour les céréales, des prélèvements à la base du maître brin sont effectués à une période précise. Après un étalonnage de référence spécifique à chaque variété, ces résultats peuvent apporter une précieuse aide à la décision pour déterminer la dose d'azote (Pellet, 2000 a et b).

Mesures de la chlorophylle: la mesure par test rapide de la coloration du feuillage détermine l'état de nutrition des plantes par une mesure de la chlorophylle (Méthode N-Tester; Yara, 2008). Un étalonnage spécifique est nécessaire pour chaque variété. La couleur des feuilles est aussi influencée par d'autres facteurs que le niveau d'alimentation en azote (par exemple l'approvisionnement en soufre) et peut rendre l'interprétation de l'analyse délicate.

Double densité: cette méthode pratiquée dans les céréales se base sur l'apparition d'une carence du témoin «double densité». Au moment du semis de la céréale, une placette est réservée où la densité de semis est doublée. Le principe est que la double densité va consommer, dans le même temps, plus d'azote que la densité simple et ainsi, en l'absence d'engrais, épuiser plus rapidement l'azote disponible dans le sol. Les premiers symptômes de carence vont donc précéder ceux du reste de la culture et se traduire par un jaunissement plus prononcé par rapport à celle-ci. Le 1^{er} apport sera réalisé à partir de cette date. Pour décider du 2^e apport, on attend que la placette «double densité» fertilisée au 1^{er} apport avec la même dose que la densité simple accuse à nouveau un jaunissement par rapport à celle-ci (Limaux *et al.*, 1999).

7.1.5 Fractionnement des apports azotés

Quelle que soit la méthode utilisée, le **tableau 26** donne des indications quant au fractionnement de la fumure azotée, au stade d'application de celle-ci et aux doses à ne pas dépasser par apport. Cette dernière indication est particulièrement importante pour les premiers épandages du printemps, sur les cultures d'automne, ainsi que pour les épandages au semis ou à la plantation des cultures de printemps, où les risques de pertes en azote par lessivage sont élevés.

Tableau 26. Fractionnement, stade d'application optimal et dose maximale admissible pour les différents apports d'azote selon la pluviométrie et les conditions pédologiques.

Culture ou groupe de cultures	Régions séchardes ¹ ou sols profonds ²		Régions pluvieuses ³ ou sols peu profonds ⁴	
	Epoque ou stade	Apport maximal (kg N/ha)	Epoque ou stade	Apport maximal (kg N/ha)
Céréales et maïs				
Céréale d'automne	En automne (avant ou après semis) Fin hiver à la reprise végétation Début redressement à 1 nœud 2 nœuds à gaine ouverte Pas de 3 ^e apport pour le blé biscuitier	0 60 80 40	En automne (avant ou après semis) Reprise végétation 1 nœud Apparition dernière feuille à début épiaison pas de 3 ^e apport pour le blé biscuitier	0 60 70 50
Céréale de printemps	Au semis Tallage à début redressement 2 nœuds à gaine ouverte	40 80 40	Au semis 3 feuilles à début tallage 1 ^{er} nœud Apparition dernière feuille à début épiaison	30 50 40 40
Maïs-grain et maïs d'ensilage	Au semis 6-8 feuilles	80 80	Au semis 4 à 6 feuilles 6 à 8 feuilles	40 40 80
Maïs vert	Au semis	60	Au semis	50
Tubercules et racines				
Pomme de terre de consommation et industrielle	Plantation Levée à feuillage 10 cm	80 80	Plantation Feuillage 10 à 15 cm Peu avant que les fanes se touchent sur la ligne	40 80 40
Pomme de terre précoce	Plantation Levée à feuillage 10 cm	60 60	Plantation Feuillage 5-10 cm	40 80
Pomme de terre plant	Plantation Levée à feuillage 10 cm	50 50	Plantation Feuillage 5-10 cm	40 60
Betterave sucrière et fourragère	Au semis 4 à 6 feuilles	80 80	Au semis 4 à 6 feuilles 6-8 feuilles	40 60 60
Oléagineux et plantes destinées à la production de fibres				
Colza d'automne	Au semis Fin hiver à reprise végétation Début montaison	0 80 60	Au semis Reprise végétation Montaison (30-40 cm)	0 80 60
Colza de printemps	Au semis Formation des rosettes, début montaison	50 80	Au semis Rosettes Montaison (30-40 cm)	30 60 40
Tournesol	Au semis	80	Au semis	60
Chanvre oléagineux	Au semis Plante 15-20 cm	40 40	Au semis Plante 15-20 cm	40 30
Chanvre à fibres	Au semis Plante 15-20 cm	50 70	Au semis Plante 15-20 cm	40 80
Lin oléagineux	Au semis Plante 15-20 cm	50 30	Au semis Plante 15-20 cm	20 40
Lin à fibres	Au semis Plante 15-20 cm	30 30	Au semis Plante 15-20 cm	20 40
Roseau de Chine	Début végétation	40	Début végétation	40
Kénaf	Au semis Plante 15-20 cm	50 50	Au semis Plante 15-20 cm	30 60
Autres cultures				
Engrais verts	Au semis	40	Au semis	40
Tabac (Burley)	Plantation 4-6 feuilles	100 80	Plantation 4-6 feuilles	80 100

1 < 450 mm de précipitations de janvier à juin.

2 Réserve en eau facilement utilisable > 70 mm.

3 > 450 mm de précipitations de janvier à juin.

4 Réserve en eau facilement utilisable < 70 mm.

7.2 Herbages

En production fourragère, la norme de fumure corrigée azotée dépasse rarement 50% du prélèvement d'azote par le fourrage car les plantes disposent d'autres sources d'approvisionnement: fixation biologique par les légumineuses, minéralisation de la matière organique du sol, arrière-effet d'apports réguliers d'engrais de ferme, dépôts atmosphériques. Le **tableau 27** donne les normes corrigées pour l'azote, selon le type de prairie ou de pâturage et le mode d'utilisation (fauche ou pâture). Elles sont indiquées par utilisation et non pas par année, car les apports doivent être répartis tout au long de la période de végétation. Les nouvelles prairies temporaires reçoivent en plus un apport de 20 à 30 kg N/ha à la levée, à l'exception des mélanges à base de fromental, d'avoine jaunâtre ou de brome (mélanges standard 450, 451 et 455) qui ne doivent pas être fertilisés à ce moment-là.

Tableau 27. Normes de fumure azotée pour les prairies, selon l'intensité et le mode d'utilisation.

Type de prairie	Mode d'utilisation	Apport recommandé par utilisation (kg N/ha)
Prairie permanente		
Intensive	– par coupe	30 ¹
	– par pâture	20 ¹
Mi-intensive	– par coupe	25
	– par pâture	15
Peu intensive	– par coupe	15 ²
	– par pâture	0 ³
Extensive	– par coupe	0
	– par pâture	0
Prairie temporaire		
Mélanges 1 an et 2 ans – à base de ray-grass d'Italie et/ou Westerwold		30 ^{1, 4}
Mélanges 3 ans et plus – luzerne-graminées (type L)		0 ^{4, 5, 6}
– trèfle violet «Mattenklee»-graminées (type M)	– par coupe	0 ^{4, 5}
	– par pâture	30 ^{1, 4}
– graminées-trèfle blanc (type G et G*)		20 ^{1, 4}
– à base de fromental, d'avoine jaunâtre ou de brome (mélanges standard 450, 451 et 455)		15 ^{2, 7}
Culture dérobée, semis d'août de prairie temporaire		
– une seule utilisation		30 ⁴
– plusieurs utilisations		30 ⁴
Production de semences		
– légumineuses pures		0 ⁴
– graminées pures	– pousse pour semences	50-100 ^{4, 8}
	– pousse affourragée	50

1 Pour les prairies intensives, permanentes ou temporaires (mélanges 1 an et 2 ans, 3 ans et plus type G ou G*), l'apport d'azote par utilisation peut être légèrement majoré lorsque les conditions naturelles sont bonnes et si l'on veut favoriser les graminées au détriment des légumineuses (au maximum 50 kg N/ha par utilisation).

2 Sous forme de fumier bien décomposé, éventuellement de purin très dilué après la 1^{re} coupe; des apports réguliers de purin ou d'azote minéral sont déconseillés.

3 Un apport d'azote par du fumier appliqué pour couvrir les besoins en P et K (voir tabl. 3) est acceptable.

4 Un apport de 20 à 30 kg N/ha à la levée est recommandé; il correspond à l'apport pour la première utilisation; lorsqu'il s'agit d'une culture dérobée hivernante et qu'il n'y aura pas d'utilisation avant l'hiver, l'apport doit être différé au printemps suivant.

5 Si la proportion de légumineuses est faible, ces mélanges peuvent être fertilisés comme les mélanges graminées-trèfle blanc.

6 Un apport annuel unique de 30 kg N/ha au printemps est recommandé.

7 Ces mélanges ne reçoivent pas d'apport d'azote à la levée.

8 50 kg N/ha au début de la période de végétation et un apport complémentaire éventuel (au maximum 50 kg N/ha selon le développement des plantes) au début de la montaison des graminées.

Les quantités indiquées dans le **tableau 27** sont valables pour un nombre annuel d'utilisations standard, correspondant aux indications du **tableau 3**. Pour une prairie de fauche, on admet un rendement moyen par utilisation d'environ 25 dt MS/ha. Pour un pâturage intensif, le rendement moyen par utilisation est d'environ 15 dt MS/ha.

Calcul du nombre d'utilisations à prendre en considération pour établir la norme corrigée de fumure azotée

Prairie de fauche:	Nombre standard d'utilisations =	$\frac{\text{Rendement annuel (dt MS/ha)}}{25 \text{ (dt MS/ha)}}$
Pâturage intensif:	Nombre standard d'utilisations =	$\frac{\text{Rendement annuel (dt MS/ha)}}{15 \text{ (dt MS/ha)}}$

Si le nombre effectif d'utilisations est plus élevé, il faut éviter d'apporter de l'azote à chaque utilisation ou réduire la quantité par apport, de façon à ce que la somme des apports annuels ne dépasse pas la quantité standard (= nombre standard d'utilisations selon **tabl. 3** × norme corrigée selon **tabl. 27**).

Les apports recommandés d'azote visent surtout à maintenir l'équilibre de la composition botanique: 50 à 70% de graminées, 10 à 30% de légumineuses (jusqu'à 70% dans les prairies temporaires semées avec un mélange L ou M), 10 à 30% d'autres plantes (jusqu'à 40% dans les prairies de fauche en montagne). En réduisant la quantité d'azote par apport, on favorise les légumineuses; en l'augmentant, on avantage les graminées ou les autres plantes dans les zones défavorables. Dans tous les cas, il convient de ne pas dépasser 50 kg N par ha et par utilisation. En montagne, il est déconseillé de majorer les apports recommandés, car les risques de dégradation de la composition botanique sont plus élevés. Pour les systèmes de production basés sur la pâture intégrale, une légère modification du principe des apports azotés fractionnés en quantités égales à chaque utilisation peut être intéressante afin d'influencer la courbe de croissance de la végétation en cours d'année. Par rapport à une fumure azotée fractionnée en quantités égales sur chaque repousse, une fertilisation avec la même quantité totale d'azote épandue en cinq apports entre mai et septembre diminue la production de fourrage au printemps et l'augmente à la fin de l'été et en automne, à raison d'environ 10% du rendement total, sans diminuer ce dernier (Thomet *et al.*, 2007). Des apports importants en automne augmentent en revanche le risque de lessivage des nitrates pendant l'hiver.

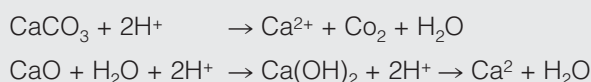
Bien que les apports recommandés pour une pâture soient de 10 kg inférieurs à ceux d'une coupe, les apports annuels en azote sont similaires dans les deux cas, le nombre d'utilisations étant plus élevé pour un pâturage. Cela ne signifie pas pour autant que les restitutions en azote au pâturage soient nulles. Mais, comme elles sont réparties de façon irrégulière, ces restitutions ne profitent qu'à une partie de la végétation.

8 Entretien calcique du sol

L'état calcique du sol est un facteur important pour l'utilisation agricole durable du territoire. Cet état est fortement influencé par la roche-mère (à partir de laquelle le sol s'est formé), la pluviométrie et le système d'exploitation. Les pertes en calcium (Ca) sont principalement dues au lessivage, au besoin de neutralisation du sol et au prélèvement de Ca par les cultures. Les pertes annuelles peuvent atteindre plusieurs centaines de kg de CaO par hectare. Ces pertes peuvent généralement être compensées par des apports d'engrais de ferme, de recyclage ou du commerce contenant du Ca ou par de petits apports sporadiques de Ca (chaulage d'entretien). Pour améliorer l'état calcique de sols plus ou moins acides, un chaulage ciblé sous forme d'oxydes de calcium est indispensable (chaulage de correction). La quantité et la fréquence des applications dépendent du pH du sol, du taux de saturation de la capacité d'échange des cations et du type de sol. Notons que le chaulage élève le pH du sol et peut ainsi modifier la disponibilité des éléments fertilisants.

Les amendements basiques calciques sont des substances à action basique qui diminuent la concentration en ions d'hydrogène (H^+), élevant ainsi le pH du sol, et augmentent la sorption des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . Les oxydes (CaO) et hydroxydes de Ca ainsi que les carbonates de Ca et de magnésium ($CaCO_3$, $MgCO_3$) possèdent ces propriétés. Les quantités de Ca sont données en équivalent CaO (oxyde de Ca), qui est l'unité de valeur neutralisante de convention internationale. L'effet neutralisant est dû à la molécule d'hydroxyde de Ca $[Ca(OH)_2]$ qui se forme dans le sol à partir du CaO ou du $CaCO_3$.

Formules de l'effet neutralisant des amendements basiques calciques:



Le gypse ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) n'est pas un amendement basique calcique car il ne modifie pas le pH du sol, c'est un engrais calcium-soufre.

Tableau 28. Appréciation grossière de la dose d'amendement basique calcique à appliquer en fonction 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 ¹		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	20	10	–
	5,3-5,8	15	7,5 ²	5-7 ³
	5,9-6,2	10	5 ²	5-7 ³
	> 6,2	0	0	–
10-30% d'argile	< 5,3	30	15	–
	5,3-5,8	25	12,5 ²	8-10 ³
	5,9-6,2	20	10 ²	8-10 ³
	> 6,2	0	0	–
> 30% d'argile	< 5,3	35	20	–
	5,3-5,8	30	17,5 ²	9-12 ³
	5,9-6,7	25	15 ²	9-12 ³
	> 6,7	0	0	–
> 10% d'humus		0	0	–

¹ En culture fourragère, il faut tenir compte de la composition botanique et du site.

² En général, un chaulage d'entretien suffit tous les 4 à 5 ans.

³ Un chaulage d'entretien est conseillé si une acidification progressive du sol est observée.

Lorsque l'état calcique du sol doit être amélioré, une évaluation grossière de l'amendement nécessaire peut être effectuée en se basant sur le pH du sol (**tabl. 28**). Il faut tenir compte du fait que les besoins en amendement basique calcique augmentent avec le taux d'argile du sol et diminuent avec le taux d'humus.

L'évaluation de l'effet des engrais minéraux utilisés sur l'état calcique du sol peut aider, en combinaison avec l'évaluation du besoin des cultures, à apprécier les besoins en chaulage d'entretien, en particulier en grandes cultures. L'effet théorique (E) acidifiant ou alcalin d'un engrais, exprimé en équivalent CaO, peut être calculé avec la formule de Sluijsmans:

$$E \text{ (kg CaO)} = 1,0 \cdot \text{CaO} + 1,4 \cdot \text{MgO} + 0,6 \cdot \text{K}_2\text{O} + 0,9 \cdot \text{Na}_2\text{O} - 0,4 \cdot \text{P}_2\text{O}_5 - 0,7 \cdot \text{SO}_3 - 0,8 \cdot \text{Cl} - n \cdot \text{N}$$

(n = 0,8 pour une prairie et 1,0 pour une grande culture)

où un E positif indique un effet alcalin et un E négatif un effet acidifiant.

L'analyse du taux de saturation de la capacité d'échange des cations du sol donne une appréciation des besoins en amendement basique calcique nettement plus précise. L'évaluation du taux de saturation et les doses conseillées en amendement basique calcique en fonction de la capacité d'échange des cations, du taux de saturation et du type d'utilisation sont indiquées dans les **tableaux 29 et 30**. Il faut signaler qu'en règle générale, un chaulage peut être nécessaire à partir d'un taux de saturation de moins de 50% pour les prairies permanentes et à partir d'un taux de saturation de moins de 60% pour les terres assolées.

Tableau 29. Evaluation de l'état calcique du sol sur la base du taux de saturation de la capacité d'échange des cations.

Taux de saturation (%)		Appréciation de l'état calcique	Richesse
Terre assolée	Prairie permanente		
< 40	< 30	très faible	A
40-49	30-39	faible	A
50-59	40-49	médiocre	B
60-80	50-80	satisfaisant	C
> 80	> 80	riche	D

Tableau 30. Dose d'amendement basique calcique à appliquer en fonction du taux de saturation et de la capacité d'échange des cations du sol (CEC).

Les doses sont calculées pour une profondeur de 20 cm. Les facteurs de conversion des différentes formes d'amendement basique calcique se trouvent dans le tableau 62.

Taux de saturation (%)		Dose de CaO (dt/ha) selon CEC (mé/100 g de terre)			
Terre assolée	Prairie permanente	< 10	10-15	15-20	> 20
> 60	> 50	0	0	0	0
50-60	40-50	7,3	12,5	15,5	20,0 ¹
40-49	30-39	10,0	19,0	21,5 ¹	28,0 ¹
< 40	< 30	13,0	24,5 ¹	27,5 ¹	36,0 ¹

¹ Fractionner en 2-3 apports espacés de 2 à 4 ans. Avant chaque nouvel apport, une analyse du pH du sol est recommandée.

Les valeurs optimales de pH du sol pour les cultures des champs se situent dans une plage relativement large, entre acide et faiblement alcalin. Lorsqu'un chaulage est nécessaire, il doit être effectué juste avant une culture de la rotation ayant des besoins élevés en Ca ou supportant le Ca. De petites doses fréquentes sont préférables à une forte dose unique, afin d'éviter le risque d'immobilisation des oligo-éléments ou un « choc de chaulage » sur les cultures sensibles.

Lorsque le pH du sol dépasse 6,2, les apports d'amendement basique calcique peuvent représenter un certain risque pour les cultures. Ces apports doivent rester exceptionnels et limités (maximum 10-15 dt CaO/ha). Les rotations comprenant des pommes de terre sont particulièrement sensibles. Des pertes de rendement importantes peuvent être enregistrées – sans symptômes visibles de carence en cours de culture. Dans ce cas, il faut renoncer au chaulage sur les cultures sensibles comme la pomme de terre.

8.2 Herbages

Pour les herbages, les valeurs optimales de pH du sol sont en général inférieures aux valeurs optimales pour les grandes cultures. La plupart des bonnes plantes fourragères se plaisent dans des sols faiblement acides à acides (pH 5,5-6,7). Dans cette plage de valeurs, la disponibilité de la plupart des éléments fertilisants pour les plantes est également bonne. Bien que le processus soit lent, les sols ont, sous nos climats, tendance à progressivement s'acidifier, même lorsqu'ils sont utilisés pour la culture herbagère. La rapidité de cette acidification dépend des conditions du milieu et du type de fertilisation. Lorsque le pH du sol descend au-dessous de 5,5, la croissance des légumineuses diminue ainsi que les quantités d'azote atmosphérique fixées dans leurs racines. Cela peut entraîner une perte de rendement (à partir d'un pH de 6,5 déjà pour la luzerne). Afin de contrecarrer cette acidification naturelle, l'utilisation d'engrais N, P et/ou Mg ayant un effet basique ou des apports modérés et réguliers d'amendement basique calcique (chaulage d'entretien) sont conseillés (**tabl. 28**).

Lorsque le pH du sol est inférieur à 5,3 et que la composition botanique de la prairie n'est pas optimale (par exemple mauvaise croissance des légumineuses), un chaulage de correction ciblé est envisageable, en tenant compte du taux de saturation de la capacité d'échange des cations (**tabl. 29 et 30**). Si la composition botanique est équilibrée, le chaulage de correction n'est pas nécessaire. Les doses de plus de 15 dt CaO/ha doivent être réparties en plusieurs apports espacés de deux ans. La teneur en Ca du fourrage ne permet pas d'apprécier l'état calcique du sol ni les besoins en amendement basique calcique, car elle dépend fortement de la composition botanique de la prairie.

Plusieurs séries d'essais ont montré que, souvent, une augmentation significative du rendement des prairies ne se manifeste pas après le chaulage d'un sol de pH supérieur à 5,0-5,5 (Schechtner, 1993; Fabre et Kockmann, 2006). Des doses trop importantes d'amendement basique calcique peuvent même conduire à une diminution de la disponibilité des éléments fertilisants (à partir d'un pH du sol $\geq 7,0$).

Une correction du pH du sol peut avoir un effet positif sur les proportions de légumineuses et/ou de bonnes graminées fourragères. Les graminées fourragères les plus productives et supportant une utilisation et une fertilisation intensives prospèrent cependant dans des climats relativement doux. Avec les climats rudes limitant la croissance des graminées supportant une utilisation intensive, la production herbagère est fortement limitée par la température, les précipitations et/ou la durée de la période de végétation. Dans ces conditions, les graminées dominant la composition botanique des herbages doivent être utilisées de manière moins intensive et donnent un rendement plus faible. Le rendement de l'herbage est donc moins fortement influencé par la fertilité du sol. Plus les conditions climatiques du site sont difficiles et plus grand est le risque que les mesures d'amélioration de l'état calcique du sol aient un effet négatif sur le rendement. Une composition botanique dégradée à la suite d'erreurs de gestion (fertilisation trop élevée, utilisation trop intensive, compaction du sol) ne peut pas être corrigée par des amendements basiques calciques. Sur les sols d'alpages naturellement acides où la végétation naturelle est adaptée à ces conditions, un chaulage peut avoir un effet négatif sur la composition botanique.

Dans les conditions suisses, une fertilisation régulière avec des oligo-éléments n'est généralement pas nécessaire. De par la composition de leur roche-mère, la plupart des sols contiennent suffisamment d'oligo-éléments pour assurer un rendement optimal de qualité irréprochable. Toutefois, il convient de prêter attention aux besoins spécifiques de cultures en soufre et certains oligo-éléments: du soufre pour les crucifères, du bore pour la betterave, du manganèse pour la betterave et le tournesol, etc.

9.1 / 9.1.1

9.1 Soufre

Aujourd'hui, les besoins des cultures en soufre sont principalement couverts par les résidus de récolte, les engrais de ferme et les engrais minéraux. Durant quelques décennies jusqu'en 1980, le soufre a été fourni en grande partie par les apports atmosphériques liés à la combustion du charbon et de l'huile de chauffage. Ces apports étaient de l'ordre de 30-50 kg S/ha et par an. Près des zones urbaines, ils pouvaient atteindre 100 kg S/ha et par an. De ce fait, même les besoins des plantes les plus exigeantes (voir tabl. 32) étaient assurés. L'abandon du charbon et l'élimination du soufre dans les huiles de chauffage à partir des années quatre-vingt ont entraîné une forte réduction des apports de soufre atmosphérique et par conséquent l'apparition de symptômes de carence dans les cultures les plus exigeantes.

9.1.1 Marche à suivre pour déterminer le risque de carence en soufre

La majeure partie (> 95% du Stot) de la réserve en soufre du sol se trouve sous forme organique (matière organique, engrais organique). La plante absorbe le soufre sous forme de sulfate (SO_4^{2-}).

La simple prise en compte des caractéristiques du site (sol, plante et climat) permet de savoir si le potentiel d'une parcelle donnée est suffisant pour assurer l'alimentation en soufre des plantes cultivées. Ces caractéristiques sont: (i) les teneurs du sol en matière

Tableau 31. Paramètres permettant d'évaluer le risque de carence en soufre et d'estimer les besoins en fumure soufrée des cultures.

Les points obtenus pour chaque critère d'appréciation s'additionnent et la somme est comparée avec les données du tableau 32.

Critères	Critères d'appréciation	Points
Matière organique (%)	< 2	1
	2-5	3
	> 5	5
Argile du sol (%)	< 10	1
	10-30	3
	> 30	5
Pierrosité (% du volume)	> 30	1
	10-30	3
	< 10	5
Profondeur utile du sol (en cm)	10-30	1
	31-70	5
	> 70	7
Précipitations octobre-mars (en mm)	> 540	1
	370-540	3
	< 370	5
Engrais de ferme sur la parcelle	Aucun	1
	Occasionnellement (> 3 ans)	3
	Régulièrement (≤ 3 ans)	5
Différence de fumure azotée appliquée par rapport à la dose prévue ¹	Supplément > 40 kg N/ha	1
	Dose prévue +/- 40 kg N/ha	3
	Réduction > 40 kg N/ha	5

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

organique, en argiles et en squelette (ii), la profondeur du sol, (iii) les précipitations d'octobre à mars, (iv) l'application d'engrais organiques et de fumure azotée (**tabl. 31**). La nécessité de fertiliser avec du soufre s'apprécie en comparant ces résultats avec les besoins des cultures (**tabl. 32**, voir également Pellet *et al.*, 2003 a et b).

Tableau 32. Besoins en soufre de quelques cultures et définition de la fumure soufrée.

Culture	Prélèvement en S (kg/ha)	Fumure soufrée selon le nombre de points (tableau 31) (kg S/ha)		
<i>Culture très exigeante</i>		< 15 points	15-23 points	> 23 points
Colza	80	60	35	0
<i>Culture moyennement exigeante</i>		< 14 points	14-20 points	> 20 points
Graminées fourragères	35	25	15	0
Betterave	35	25	15	0
Luzerne	30	20	15	0
Maïs	30	20	15	0
<i>Culture peu exigeante</i>		< 13 points	13-18 points	> 18 points
Blé	25	20	10	0
Orge	20	10	0	0
Pomme de terre	20	10	0	0
Prairie intensive	20-35	15-20	0	0
Autres cultures	< 20	0	0	0

9.1.2 Forme et moment d'application de la fumure soufrée

L'apport de soufre s'effectue selon les mêmes règles que la fumure azotée (le comportement du sulfate prélevé par les plantes est semblable à celui du nitrate). L'apport de fond est assuré par les engrais de ferme (1 tonne de fumier ou 1 m³ de lisier de bovin contiennent environ 0,3-0,4 kg S). Le meilleur moyen d'appliquer une fumure spécifique avec du soufre consiste à utiliser un engrais azoté contenant du soufre (**tabl. 58**). Il est également possible d'apporter du soufre au moyen d'engrais minéraux potassiques, magnésiens ou complets dont la teneur en soufre est suffisante (**tabl. 58**). Lorsque des symptômes de carence apparaissent, l'application d'une fumure foliaire avec un produit compatible (sulfate de magnésium, sel d'Epson) permet de couvrir en partie les besoins momentanés de la plante en soufre.

9.2 Bore, manganèse et autres

Dans quelques cas, une fertilisation avec du bore ou du manganèse peut s'avérer indispensable. Il s'agit en particulier de cultures exigeantes en bore (betterave, colza, tournesol) implantées sur des sols alcalins qui nécessitent en général des apports de 1,5 à 2 kg de B/ha. La disponibilité du manganèse est fortement diminuée dans les sols alcalins riches en matière organique; des doses massives de chaux peuvent aussi sérieusement entraver l'alimentation des cultures en bore et en manganèse (cf. chap. 8). Dans des cas particuliers, une évaluation de la teneur en manganèse et en bore du sol est indispensable. L'interprétation des résultats de ces analyses et le dosage des engrais contenant du bore et du manganèse figurent dans le **tableau 33**.

Pour les autres oligo-éléments, l'analyse de sol ne se justifie que dans des cas exceptionnels, après avoir pris contact avec le service de vulgarisation ou une station de recherche agronomique.

Tableau 33. Apports de bore et de manganèse basés sur les résultats d'analyse de sol, le type de sol et la culture.

Elément	Classe de fertilité	Appréciation	Teneur du sol (ppm)		Sol pauvre à normalement pourvu en matière organique < 10%		Sol riche en matière organique et humifère > 10%			
							Sol acide et faiblement acide		Sol neutre et alcalin	
					Culture peu exigeante	Culture exigeante ¹	Culture peu exigeante	Culture exigeante ¹	Culture peu exigeante	Culture exigeante ¹
Bore	A	pauvre	< 0,6		1,5-2,0 kg B/ha ²	2,5-3,0 kg B/ha ²	1,5-2,0 kg B/ha ²	2,5-3,0 kg B/ha ²	1,5-2,0 kg B/ha ²	2,5-3,0 kg B/ha ²
	B	médiocre	0,6-1,5		–	1,5-2,0 kg B/ha ²	–	2,0-2,5 kg B/ha ²	–	2,0-2,5 kg B/ha ²
	C	satisfaisant	1,6-2,0	–	–	–	–	–	–	–
	D E	riche très riche	2,1-5,0 > 5,0							
			Echangeable	Facilement réductible						
Manganèse	A	pauvre	< 2		20-40 kg Mn/ha ²	30-50 kg Mn/ha ²	30-50 kg Mn/ha ²	40-60 kg Mn/ha ²	10-15 kg/ha sulfate de manganèse ³	
	B	médiocre	> 2	< 50	20-40 kg Mn/ha ²	20-40 kg Mn/ha ²	20-40 kg Mn/ha ²	20-40 kg Mn/ha ²	10-15 kg/ha sulfate de manganèse ³	
	C	satisfaisant	> 2	> 50	–	–	–	–	–	–

1 Bore: betteraves, colza, tournesol. Manganèse: céréales, légumineuses, betteraves.

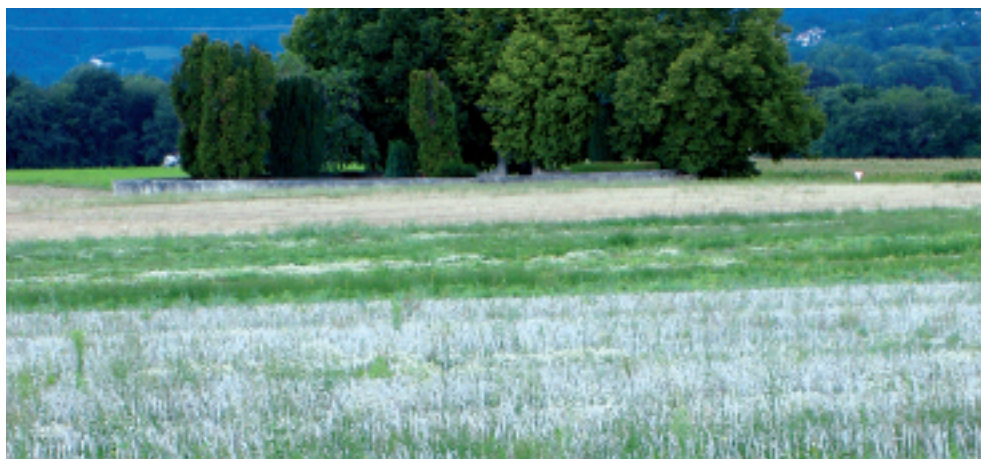
2 Fumure au sol (le bore peut être apporté au sol sous forme de borax, pulvérisé au sol sous forme d'acide borique ou par des engrais composés boratés).

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

10

10 Résidus de récolte

Les normes de fumure comprennent à la fois les besoins en éléments nutritifs du produit principal récolté et celui des résidus (**tabl.1**). Si les résidus de récolte (paille, fanes, tiges, feuilles, etc.) restent sur le champ, les éléments fertilisants qu'ils contiennent sont déduits de la fumure de la culture suivante. Comme pour les engrais de ferme, la totalité de la valeur fertilisante des résidus de récolte en P, K et Mg (**tabl.1**) doit être prise en considération dans le plan de fumure. En ce qui concerne l'azote des résidus de récolte pour la fumure de la culture suivante, il faut prendre en compte les valeurs indiquées dans le **tableau 19**, lorsque la méthode de calcul des normes corrigées est utilisée. Lorsqu'une partie des résidus de récolte est enlevée, la déduction de la fumure sera proportionnelle à la part qui reste sur le champ.



11

Engrais de ferme



Dans la plupart des cas, les engrais de ferme de l'exploitation (purin ou fumier) couvrent une bonne partie des besoins des cultures. Pour l'efficacité, la protection de l'environnement et la gestion économique de la fumure, il est donc déterminant que toutes les exploitations qui ont du bétail utilisent judicieusement leurs engrais de ferme. Un traitement inapproprié des engrais de ferme charge l'environnement (chap. 14.3); il est donc écologiquement très important de les utiliser avec précaution. Un bon usage des engrais de ferme est difficile à cause des grandes quantités produites, des teneurs en éléments fertilisants faibles et imprécises, ou encore de la libération imprévisible des fractions d'azote liées à la matière organique. Les valeurs de normes sont généralement le seul moyen d'estimer les quantités d'engrais de ferme et leurs teneurs en éléments fertilisants, tout en sachant que ces teneurs peuvent s'écarter fortement de la norme d'une exploitation à l'autre. Néanmoins, ces valeurs indicatives associées aux recommandations d'utilisation fournissent une bonne base pour une gestion rationnelle des engrais de ferme, sur le plan agronomique et écologique.

11.1 Production et teneurs en éléments nutritifs

11.1.1 Déjection d'éléments fertilisants par les animaux de rente

Une grande partie des éléments nutritifs présents dans le fourrage ingéré par les animaux sont évacués dans les excréments (**tabl. 34**). Selon l'affouragement, le niveau de performance et l'état de santé du bétail, la proportion évacuée au sein d'une exploitation agricole peut varier dans les limites indiquées dans le **tableau 34**. Grâce à l'utilisation des excréments comme engrais, le cycle interne des éléments nutritifs de l'exploitation est ainsi pratiquement fermé. Toutes les données concernant les teneurs en éléments fertilisants des engrais de ferme ont été calculées à partir de plans d'affouragement pour différentes rations, sauf l'azote directement utilisable par les plantes (N_{sol} = ammonium et nitrate), donné par les résultats d'analyses d'engrais de ferme, et l'azote disponible à moyen terme (N_{disp}), déterminé par des expérimentations de longue durée. Les teneurs en éléments fertilisants des fourrages sont tirées des normes d'affouragement de la station de recherche Agroscope Posieux-Liebefeld (ALP). Les teneurs en éléments fertilisants dans les produits animaux sont consignées en annexe, dans le **tableau 61**.

Tableau 34. Proportion des éléments N, P et K excrétés par rapport à la quantité ingérée.

Type d'animal	N (%)	P (%)	K (%)
Vaches laitières	65-80	65-80	85-95
Bovins à l'engrais	75-85	70-85	96-98
Porcs d'élevage, y compris porcelets	75-85	75-85	90-98
Porcs à l'engrais	70-80	75-85	90-97
Poules pondeuses	65-80	80-90	85-95
Poulets à l'engrais	50-65	45-60	75-85

Le **tableau 35** fournit les quantités d'éléments fertilisants excrétés par place d'animal et par an en conditions de production usuelles. Les éventuelles divergences par rapport aux normes sont expliquées dans le **tableau 36**.

Lorsque, dans des cas particuliers, les données du **tableau 36** ne répondent pas aux techniques de production spécifiques à une exploitation, il est possible de s'appuyer sur le bilan des éléments fertilisants. Les quantités d'éléments ingérées sont déterminées à partir de la consommation et des teneurs des fourrages (y compris les sels minéraux, etc.), dont on déduit les éléments retenus dans les produits animaux (y compris l'accroissement). Les données concernant les teneurs en éléments nutritifs dans les produits animaux se trouvent en annexe (**tabl. 61**).

Tableau 35. Quantité annuelle d'éléments nutritifs excrétée par différents animaux dans les fèces et l'urine.

Les remarques et les données concernant les conditions de production se trouvent dans le tableau 36. Toutes les valeurs se rapportent aux excréments animaux (sans litière) pour une intensité de production moyenne et une alimentation conforme aux recommandations des stations de recherche Agroscope.

Pour les cas particuliers de production d'animaux avec des cycles plus courts ou qui ne portent pas sur une année complète, on trouve, en plus des valeurs par place et par année, des données par animal. Les temps morts usuels entre deux rotations sont compris dans les données par place et par année.

Type d'animal		Eléments fertilisants excrétés en kg/unité (animal ou place) et par an ^{1, 2, 3}							Consommation de fourrage de base (dt MS/an)
		N ⁴	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O ⁵	Mg	Ca	
Vache laitière	6500 kg lait/an ⁶	115	18	41	153	184	12	45	58
Vache nourrice ⁷		80	13	30	99,5	120	8	30	40
Bovin d'élevage ⁸	moins de 1 an	25	3	7,5	29	35	4	10	11
	1 à 2 ans	40	6	13	50	60	5	15	22
	plus de 2 ans	55	9	20	62	75	7	23	33
Veau à l'engrais ⁹	par place	13	2	4,5	6	7	0,3	1,5	1
	par animal	5	0,7	1,5	2	2,7	0,1	0,6	0,4
Veau allaité ¹⁰	par animal et place	34	3,5	8	28	34	2	8	11
Bovin à l'engrais (65-520 kg) ¹¹	par place	33	5	11	27	33	4	9	14
	par animal	41	6	14	34	41	5	11	17,5
Bovin à l'engrais (65-530 kg) ¹²	par place	40	5	12	45,5	55	4	13	16
	par animal	65	8	18	66,5	80	6	20	25
Taureau d'élevage		50	8	18	70,5	85	5	20	30
Jument avec poulain ¹³		52	13,5	31	73	88	7	23	29
Autres chevaux de plus de 3 ans ¹⁴		44	10	23	62	75	5	19	29
Poulain 0,5 à 3 ans		42	8	19	56,5	68	4	14	26
Place de chèvre ¹⁵		16	2	5	18	22	1,5	6	6,8
Place de mouton ¹⁵		12	2	4,5	16,5	20	2	7	8
Place de brebis laitière ¹⁵		21	4	9	26,5	32	3	9	11
Cerf ¹⁶	par unité	20	3	7	24	29	2,4	8	10
Daim ¹⁶	par unité	40	6	14	48	58	4,8	16	20
Bison plus de 3 ans		60	13	30	91	110	6	30	39
Bison moins de 3 ans		20	4	10	37	45	2,5	11	18
Lama plus de 2 ans		17	3	6,5	23	28	1,7	6	8,5
Lama jusqu'à 2 ans		11	2	4	12,5	15	1	3	4,9
Alpaga plus de 2 ans		11	2	4	15	18	1	4	5,5
Alpaga jusqu'à 2 ans		7	1	2,5	7,5	9	0,5	2	3,0
Porc à l'engrais/remonte ¹⁷	par place	13	2,5	6	6	7	1	2	0
	par animal	4	1	2	2	2,3	0,3	0,7	0
Porc d'élevage ¹⁸	par place	35	8	19	16	19	3	12	0
Verrat		18	4	10	8	10	1,5	6	0
Truie allaitante ¹⁸	par place	42	10	23	15	18	4	15	0
	par truie et rotation	5,1	1	2,8	2	2,2	0,5	1,8	0
Truie gestante ¹⁸	par place	20	5	11	11	13	2	8	0
	par truie et rotation	6,5	1,5	3,5	3,5	4,2	0,6	2,6	0
Porcelet sevré ¹⁸	par place	4,6	1	2,6	2	2,5	0,4	2	0
	par porcelet	0,4	0,1	0,2	0,15	0,2	0,04	0,2	0
Poule pondeuse ¹⁹	pour 100 places	80	20	45	25	30	6,5	100	0
Poulette ²⁰	pour 100 places	34	9	21	10	12	2,5	11	0
	pour 100 animaux	15	4	9	4	5	1,1	5	0
	pour 100 places	45	7	16	18	22	4,5	3	0
Poulet à l'engrais ²¹	pour 100 places	140	30,5	70	33	40	18	35	0
Dinde à l'engrais ²²	pour 100 places	48	11	25	11	13	6,5	12	0
	pour 100 animaux	24	4	10	12,5	15	1,3	15	11
Autruche plus de 13 mois		11	2,5	6	6,5	8	0,8	8	2
Place de lapine mère ²³		9	2,5	6	4	5	1	4	0

Notes 1 à 23: voir tableau 36.

Tableau 36. Compléments du tableau 35 avec des remarques générales et des indications sur les conditions de production sur lesquelles se basent les calculs.

Note tableau 35	Critère / Mot-clé	Description du type de production
1	Paille, litière	Une quantité quotidienne de litière de 1,5-2 kg par vache en stabulation entravée équivaut à une production annuelle de 3,1 kg N, 1,1 kg P ₂ O ₅ , 9 kg K ₂ O et 0,5 kg Mg (selon la valeur moyenne de la paille, tableau 60a).
2	Correction du nombre d'animaux (alpage, etc.)	En cas d'alpage ou de charge saisonnière, la production d'éléments fertilisants est ajustée proportionnellement aux jours d'affouragement.
3	Composition des rations	Les valeurs sont comprises pour des rations moyennes usuelles. Pour le bétail laitier (y compris l'élevage; pas l'engraissement), les déjections d'azote et principalement de K ₂ O peuvent être plus faibles si le maïs (silo, bouchon) est en forte proportion dans la ration. Dans ces cas, les déjections peuvent être corrigées selon les formules suivantes: – Facteur de correction pour déjections en K₂O (%) = (proportion de maïs dans la ration de base d'hiver × 0,1) + (proportion de maïs dans la ration de base d'été × 0,4). Exemple: avec 30% de maïs en hiver et 20% en été: facteur de correction = (30 × 0,1) + (20 × 0,4) = 3 + 8 = 11; les déjections de K₂O sont par conséquent de 11% inférieures à celles figurant dans le tableau 35. – Facteur de correction pour N excrété (%) = proportion de maïs dans la ration d'été × 0,4 (la correction pour l'affouragement d'hiver n'est pas nécessaire). Pour d'autres rations et d'autres genres d'animaux, les corrections ne sont pas nécessaires, sauf lorsqu'on suit des stratégies d'affouragement particulières (par exemple fourrage à teneur réduite en éléments nutritifs comme le fourrage NPR).
4	Disponibilité de l'azote pour les plantes (N _{disp})	Compte tenu des pertes d'azote à l'étable, durant le stockage et à l'épandage ainsi que de la disponibilité partielle de l'azote organique (définition N _{disp} , voir tabl. 63), la quantité d'azote indiquée ne correspond pas à celle qui pourra être utilisée pour la fumure. Généralement, la disponibilité à moyen terme pour les plantes est de l'ordre de 60% de l'azote total, tous types d'animaux confondus. Si l'on prend en compte les pertes inévitables à l'étable ainsi que celles liées au stockage, le taux se ramène à environ 50% de la quantité excrétée par les animaux. Ces valeurs sont sujettes à de grandes variations selon le genre d'animal, le type de stabulation et les conditions locales: elles doivent être prises avant tout comme des données de référence pour des zones étendues. Dans le cas d'une exploitation particulière, c'est davantage le genre d'animaux et les conditions pédologiques qui comptent.
5	Potasse excrétée par les animaux consommant du fourrage grossier	Dans les exploitations où le fourrage contient en moyenne 20 à 25 g K par kg de MS, la quantité de potasse excrétée par les animaux consommant principalement du fourrage grossier se réduit de 15%. Si la teneur moyenne du fourrage est inférieure à 20 g K par kg de MS, la réduction est de 30%.
6	1 Vache laitière	Poids moyen à l'âge adulte: 650 kg; production moyenne annuelle de lait: 6500 kg. Par 1000 kg de lait en moins, réduire de 10% les déjections et pour 1000 kg en plus, les augmenter de 2%. Cette correction tient compte des différences de poids des bêtes. Pour une même performance laitière, un animal qui pèse 100 kg de moins ingère et excrète 6% en moins.
7	1 Vache mère ou nourrice	Vache mère (un veau) sans veau, pour les races dont le poids vif atteint environ 600 kg et plus. Pour les vaches nourrices (2 veaux par vache), la quantité excrétée est de 90 kg N, 32 kg P ₂ O ₅ , 125 kg K ₂ O, 8,5 kg Mg et 32 kg Ca; la consommation de fourrage de base est de 45 dt par année. Pour les races dont le poids vif est de 450 kg, la quantité excrétée est de 70 kg N, 26 kg P ₂ O ₅ , 110 kg K ₂ O, 7 kg Mg et 28 kg Ca; la consommation de fourrage de base est de 35 dt par année.
8	Bovin d'élevage	Valable pour une vache laitière selon note 6. Les indications dans le tableau s'appliquent pour un premier vêlage à 30 mois. Pour un vêlage autour de 24 mois, la quantité excrétée dans la 1 ^{re} année est de 30 kg N, 10 kg P ₂ O ₅ , 44 kg K ₂ O, 4 kg Mg, 12 kg Ca, respectivement 45 kg N, 15 kg P ₂ O ₅ , 65 kg K ₂ O, 6 kg Mg, 18 kg Ca dans la 2 ^e année; la consommation de fourrage de base est de 17 dt, respectivement 30 dt par année. Les veaux vendus à l'âge de 3-6 semaines pour l'engraissement ne sont pas pris en considération.
9	Veau à l'engrais	Veau engraisé de 50 à environ 200 kg, à raison d'un accroissement moyen de 1250 à 1300 g/jour; 2,6 rotations par place et par année.
10	Veau allaité	Atteint à peu près 350 kg à l'âge d'environ 10 mois, seule 1 rotation par année possible. Si ces animaux sont engraisés jusqu'à 400 kg, les déjections (par animal et par place) sont de 43 kg N, 11 kg P ₂ O ₅ , 45 kg K ₂ O, 3 kg Mg et 11 kg Ca pour une consommation de fourrage de base de 16 dt.
11	Bovin à l'engrais (intensif)	Engraissement intensif à partir de 65 kg jusqu'à 520 kg; les taurillons augmentent en moyenne de 1100 g par jour. Si les animaux ne sont mis à l'étable qu'après le sevrage, les déjections par place et par année (env. 1 rotation par année, gain quotidien de 1200 g) atteignent 38 kg N, 13 kg P ₂ O ₅ , 39 kg K ₂ O, 5 kg Mg et 10 kg Ca pour une consommation de fourrage de base de 17 dt. Pour les veaux destinés à l'engraissement, les mêmes valeurs peuvent être utilisées que pour les veaux à l'engrais.
12	Bovin broutard à l'engrais	Engraissement au pâturage avec une ou deux périodes de pâture (environ 17, respectivement 22 mois), de la naissance à environ 530 kg.

Tableau 36 (suite). Compléments du tableau 35 avec des remarques générales et des indications sur les conditions de production sur lesquelles se basent les calculs.

Note tableau 35	Critère / Mot-clé	Description du type de production
13	Jument avec poulain	Les poulains nés au printemps restent avec leur mère jusqu'à l'automne avant d'être vendus. S'ils sont gardés plus longtemps, ils doivent être pris en compte séparément. La quantité de fourrage de base n'est pas plus élevée que pour un cheval d'équitation ou de trait parce que les besoins supplémentaires de la jument sont couverts par du fourrage concentré. Si le fourrage concentré est uniquement composé d'avoine (maximum 700 kg par année), la consommation de fourrage grossier augmente de 5 dt.
14	Autres chevaux de plus de 3 ans	Cheval adulte d'un poids moyen de 550 kg. Les valeurs relatives aux animaux plus légers (poneys, ânes, jeunes chevaux) peuvent être converties en fonction du poids effectif. Ces données sont valables pour une charge de travail réduite (une heure par jour: travail, équitation). Avec une sollicitation plus importante, les déjections de N et P ₂ O ₅ augmentent de 7% par heure, respectivement de 4% pour les autres éléments.
15	Place de chèvre	Production annuelle par chèvre, y compris les animaux destinés à la remonte, à l'engraissement et une part pour le bouc.
15	Place de mouton	Production annuelle par mouton, y compris les animaux destinés à la remonte, à l'engraissement et une part pour le bélier. Ces valeurs sont liées à une production basée sur un affouragement provenant de prairies extensives. En production plus intensive avec du bon foin et de l'ensilage, les quantités excrétées sont de 18 kg N, 6 kg P ₂ O ₅ , 25 kg K ₂ O, 2 kg Mg et 7 kg Ca pour une consommation de fourrage de base de 7,2 dt.
15	Place de brebis laitière	Production annuelle par brebis laitière, y compris les animaux destinés à la remonte, à l'engraissement et une part pour le bélier.
16	Cervidé	Une unité cervidé (daim) comprend la mère et ses petits jusqu'à 16 mois. Les animaux plus âgés doivent être comptés séparément. Une unité de cervidé correspond à 2 animaux lors du recensement en avril.
17	Place de porc à l'engrais	Une place de porc à l'engrais (PPE) correspond à une place pour un engraissement d'environ 25 kg jusqu'à 100 kg, avec une croissance journalière moyenne de 700-800 g (env. 3-3,2 rotations par année). La production de P ₂ O ₅ indiquée se base sur une teneur de 6 g/kg de fourrage (13,5 MJ EDP/kg de fourrage). Une variation d'un gramme par kg engendre une augmentation ou réduction d'environ 25%. La production d'azote est basée sur une teneur en protéines de 170 g/kg de fourrage (13,5 MJ EDP/kg de fourrage). Une variation de 10 g de protéines brutes/kg engendre une augmentation ou diminution de 8%. La quantité excrétée peut être réduite au maximum à 10 kg N et 2,7 kg P ₂ O ₅ .
18	Truie d'élevage	Une place de truie d'élevage (PTE) comprend une truie (après la première mise-bas) et l'élevage de ses porcelets jusqu'à un poids de 25-30 kg. On compte en moyenne 20-24 porcelets par PTE et année. Les remontes doivent être considérées comme des porcs à l'engrais. Si les animaux reçoivent régulièrement du fourrage de base, la consommation est corrigée en fonction de la situation effective. La production de P ₂ O ₅ est basée sur une teneur en P du fourrage de 6,5 g/kg (88% MS; moyenne pondérée de tous les aliments, y compris l'aliment pour les porcelets). Pour chaque variation de 1 g/kg du fourrage, la production de P ₂ O ₅ varie d'environ 20% en plus ou en moins. La production d'azote est basée sur une teneur en protéine de 145 g/kg pour les truies gestantes, 165 g/kg pour les truies allaitantes et 175 g/kg pour les porcelets (toutes les données sont basées sur 88% de MS). Une réduction de la teneur en protéines des fourrages de 10 g/kg engendre une réduction de la production d'azote de 8% pour les truies et 10% pour les porcelets. La quantité excrétée par place de truie d'élevage peut être réduite au maximum à 29,2 kg N et 12 kg P ₂ O ₅ .
19	Poule pondeuse	La durée de production d'environ une année n'a pas d'influence sur les excréments. La production de P ₂ O ₅ est basée sur une teneur en P du fourrage de 5,7 g/kg. Lorsque la teneur en P est modifiée de 1 g/kg, la production de P ₂ O ₅ varie d'environ 20% en plus ou en moins.
20	Poulette	En 18 semaines, les poussins atteignent un poids de 1,3 à 1,6 kg; 2-2,5 séries par année.
21	Poulet à l'engrais	Les valeurs des déjections équivalent à une unité «100 places normales» (poids final des animaux au moins 2 kg) en conditions de détention (max. 30 kg/m ²) et d'affouragement normales, et sans séjour partiel en liberté. Pour des races à engraissement intensif, ces valeurs correspondent à une durée d'engraissement d'env. 40 jours et pour des races à engraissement extensif, d'env. 60 jours. Les bilans en éléments fertilisants peuvent être calculés au moyen du Module 7 «Bilans entrées/sorties» mis à disposition par l'Office fédéral de l'agriculture en tenant compte des séjours en liberté. Contrairement à d'autres types d'animaux, les valeurs des éléments fertilisants présents dans les excréments ne sont calculées que sur la base des places et non sur le nombre d'animaux engraisés, le poids final des animaux et la durée de rotation pouvant varier de manière importante.
22	Dinde à l'engrais	Production de dindes avec un poids moyen final de 12 kg, 2,8 séries par année. Pour des dindes en pré-engraissement (jusqu'à environ 1,5 kg poids vif, 6 séries par année), on compte une production de 40 kg N, 20 kg P ₂ O ₅ et 12 kg K ₂ O pour 100 places de dindes par an. Pour la finition d'engraissement (de 1,5 à environ 13 kg poids vif, 2,9 séries par année), la production est 230 kg N, 115 kg P ₂ O ₅ et 70 kg K ₂ O pour 100 places.
23	Place de lapine mère	Les données sont valables pour un engraissement à partir de fourrage concentré. Les animaux isolés destinés à l'auto-alimentation, nourris principalement avec du fourrage grainier ne sont pas pris en compte dans le calcul de l'équilibre de la fumure. Une place de lapine mère correspond à une femelle, y compris l'engraissement des petits. Un engraissement intensif permet de produire une quarantaine de lapins avec un poids vif final de 2,7 à 3 kg par lapine et par année. La consommation d'aliment par place est d'environ 450 à 500 kg/an.

L'affouragement influence la quantité d'excréments et donc de purin et de fumier. Les valeurs indicatives sur la production de purin et de fumier selon les différents espèces animales et systèmes de stabulation (**tabl. 37**) servent avant tout à déterminer les dimensions nécessaires au stockage des engrais de ferme et à une planification approximative de la fumure. Ces données se rapportent à du lisier/purin non dilué. Dans la plupart des exploitations, des quantités importantes d'eau vont aussi dans la fosse à purin (nettoyage de l'écurie, de la chambre à lait, eau de pluie des places non couvertes, eaux usées du ménage, etc.). La quantité effective de lisier/purin ne peut être déterminée que lorsqu'on connaît la quantité d'eau qui vient s'ajouter à celle du purin non dilué. Les valeurs indicatives correspondantes sont montrées dans le **tableau 38**. La dilution usuelle est de 1:1 (part de lisier:part d'eau). Pour éviter des pertes importantes d'azote en cours d'épandage (volatilisation d'ammoniac, **voir tabl. 46**), il faut tendre vers une dilution plus importante, en particulier durant l'été.

Tableau 37. Valeurs indicatives sur la production annuelle d'engrais de ferme des animaux de rente en fonction du système de stabulation.

Type d'animaux / Type de production		Quantité annuelle d'engrais de ferme produit en stabulation ¹ et quantité de paille utilisée en fonction du système de stabulation ²					
		Lisier seul ³ (m ³)	Purin et fumier ^{3, 4}			Fumier seul ⁴	
			Paille (dt/an)	Purin pauvre en fèces (m ³)	Fumier (t)	Paille (dt/an)	Fumier (t)
1	Vache latière avec 6500 kg de lait/an ⁵	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'étable ⁶			15	6,8
1	Place de broutard bovin à l'engrais	8	Selon l'étable ⁶			15	7
1	Cheval (fumier frais)					29	12 ⁷
1	Jument avec poulain (fumier frais)					36	14 ⁷
1	Poulain 0,5-2,5 ans (fumier frais)					15	10 ⁷
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'engrais ⁸	1,6	selon l'étable ⁶			2,6	1,2
1	Place de porc d'élevage	6	selon l'étable ⁶			8	3,4
1	Place de truie après mise-bas ⁸	7,2	selon l'étable ⁶			10	4
1	Place de truie portante	3,6	selon l'étable ⁶			6	2
1	Place de porcelet	0,8	selon l'étable ⁶			1	0,5
		Tapis à crottes		Caisse à crottes / Elevage 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			

1 Lorsque le bétail est temporairement absent de l'étable (pâture, alpage), il faut réduire la quantité d'engrais en conséquence. Les quantités se rapportent à une production moyenne. Dans le cas d'une production plus intensive, la quantité d'engrais de ferme augmente en conséquence.

2 La production de lisier, de fumier ou de fumier + purin dépend du système de stabulation. Dans les stabulations entravées et les stabulations libres, les calculs peuvent s'effectuer selon des quantités identiques. Les quantités de fumier 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. De ce fait, la quantité de fumier peut être différente de la valeur indiquée. Un fumier au tas ou un fumier de stabulation (tabl. 63) atteignent en moyenne 700-800 kg/m³. Du fumier chargé sur l'épandeur à la grue ou au frontal pèse environ 550-650 kg/m³, du fumier chargé à la main 700-800 kg/m³. Toutes ces indications ne s'appliquent pas au fumier contenant une grande proportion de résidus de fourrage ou autres déchets organiques, ni à des fèces raclées sans litière (étable d'alpage). Pour obtenir des données plus spécifiques concernant l'exploitation, il est conseillé de déterminer le poids d'un épandeur normalement chargé au moyen de plusieurs pesages successifs.

- 3 La quantité de lisier ou de purin indiquée correspond à du lisier non dilué. Les quantités d'eau supplémentaires, susceptibles d'être déversées dans la fosse à purin, doivent être définies à l'aide du tableau 38. Le type de lisier/purin est défini par le type d'animal et par le pourcentage de fèces qu'il contient. 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, les pertes en ammoniac peuvent être sensiblement réduites, en particulier durant l'été.
- 4 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. En utilisant beaucoup de litière et/ou en raclant peu les fèces, on obtient un fumier riche en paille.
- 5 Se rapporte à une production annuelle moyenne de 6500 kg de lait. Par 1000 kg de lait en moins, réduire de 10% les déjections; par 1000 kg de lait supplémentaire, les augmenter de 2%. Cette correction tient compte des variations du poids vif des animaux.
- 6 Dans ces étables, une partie de la surface est vouée, en règle générale, à la production de purin ou de fumier. Par conséquent, les produits peuvent être assimilés au lisier et au fumier de stabulation. 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 de lisier indiquée et 60% de la quantité de fumier de stabulation.
- 7 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.
- 8 On a tenu compte des quantités d'eau usuelles provenant de biberons d'abreuvoirs non étanches. Dans le cas de biberons très perméables, la dilution et, par analogie, la quantité de purin ou de lisier peuvent être plus importantes.

Tableau 38. Valeurs indicatives pour le calcul des quantités d'eaux usées déversées dans la fosse à purin.

Type d'eaux usées	Unité de référence	m³/mois		m³/année
		Été	Hiver	
Eau pour le nettoyage de l'étable et les soins aux animaux (bovins) ¹	GVE	1	0,2	7
Evacuation du fumier par flottation ²	GVE	0,5	0,5	6
Eau pour le nettoyage de la porcherie et les soins aux animaux ³	MSP	par série 0,15		0,5
Eau pour le nettoyage de poulaillers de poules pondeuses ³	100 LHP			0,5
Eau pour le nettoyage de poulaillers de volaille à l'engrais ³	100 MPP			0,8
Jus d'écoulement de la fumière, des parcours en dur non couverts ⁴	m²	0,05	0,1	1
Eau de refroidissement des boilles à lait par ruissellement ⁴	1000 l lait refroidi	4	—	4
Eau de nettoyage				
Chambre à lait ⁵	PT ⁶	0,5 + 0,05*PT		6 + 0,6*PT
Citerne de refroidissement ⁵	volume	0,0015 + 0,0002*volume		0,018 + 0,0024*vol.
Installation de traite ⁵	PT	3 + 0,5*PT		36 + 6*PT
Salle de traite ⁵	PT	0,5*PT		6*PT
Eaux usées domestiques				
Conditions usuelles (machine à laver, douche/bain, WC)	habitant	4,5	4	50
Installations sanitaires simples	habitant	3	3	36
Cas particuliers avec production d'eau usée régulièrement inférieure à la normale ⁷	habitant	1,7	1,7	20

- 1 La quantité d'eaux usées par UGB peut varier fortement. En installant des compteurs à eau, l'exploitant peut obtenir des valeurs plus précises. La quantité d'eau indiquée suffit généralement pour l'utilisation d'un évacuateur de fumier à piston.
- 2 Cette quantité est généralement ajoutée à celle du nettoyage normal des étables. Elle est nécessaire au bon fonctionnement du système et, par conséquent, ne peut guère être réduite durant l'hiver.
- 3 Sans nettoyeur à haute pression, la quantité utilisée est nettement supérieure à la valeur indiquée. En principe, le nettoyage ne se fait qu'à la fin d'une rotation. Dans les poulaillers à poules pondeuses, il faut compter avec une production d'eaux usées de 0,5 m³ par 1000 animaux et par nettoyage à la fin de chaque série.
- 4 Cette quantité n'est prise en considération que si l'eau s'écoule dans la fosse à purin.
- 5 Ces formules servant à calculer les besoins en eau en rapport avec la grandeur d'une exploitation proviennent de données étrangères et n'ont pas encore été validées par la recherche sur le plan suisse. Ces formules de calcul ont donc un caractère provisoire.
- 6 Nombre de postes de traite (p. ex. nombre de places dans la salle de traite).
- 7 Cette valeur n'est valable que pour de très vieux bâtiments ne disposant pas d'installations sanitaires et dans des régions où la quantité d'eau disponible est limitée.

Le **tableau 39** contient les valeurs indicatives des teneurs moyennes en éléments fertilisants des différents types de lisier/purin et de fumier. L'affouragement influence les teneurs en éléments fertilisants des engrais de ferme. Cependant, les valeurs indicatives sont fixées de manière à ne rendre des corrections nécessaires que pour des conditions particulières (**tabl. 36**). Cela peut, par exemple, être le cas pour une exploitation bio, lorsque la teneur en potassium du fourrage grossier s'écarte régulièrement de la valeur standard. Le mode de préparation des engrais de ferme (chapitre 11.2) peut avoir une influence non négligeable sur les teneurs en éléments fertilisants.

Tableau 39. Teneurs indicatives en matière sèche (MS), en matière organique (MO) et en éléments fertilisants des engrais de ferme pour différents animaux de rente en stabulation.

Type d'animal / d'engrais de ferme	Teneurs (en kg/m ³ de lisier/purin non dilué et en kg/t de fumier)										
	MS	MO	N _{tot} ³	N _{sol} ⁴	N _{disp} ⁵	P	P ₂ O ₅ ⁶	K	K ₂ O ⁷	Mg ⁶	Ca ⁶
Vache laitière / élevage											
Lisier ¹	90	70	4,3	2,3	2,2-3,0	0,8	1,8	6,6	8,0	0,5	2,0
Purin pauvre en fèces ¹	75	40	4,9	3,2	3,2-4,2	0,5	1,2	9,6	11,6	0,5	1,3
Fumier au tas ²	190	150	4,9	0,8	1,0-2,0	1,4	3,2	5,5	6,6	0,8	3,7
Fumier de stabulation ²	210	175	5,3	1,3	1,3-2,5	1,0	2,2	9,0	10,8	0,7	2,7
Bovin à l'engrais											
Lisier ¹	90	65	4,3	2,3	2,2-3,0	0,7	1,7	4,3	5,2	0,7	1,3
Fumier de stabulation ²	210	155	5,4	1,3	1,3-2,5	1,0	2,3	7,4	8,9	0,9	2,3
Veau											
Fumier de veau ²	200	150	5,3	2,0	1,3-2,5	1,0	2,3	4,6	5,5	0,3	1,0
Cheval											
Fumier de cheval, frais ²	350	300	4,4	1,2	0,3-0,8	1,1	2,5	8,1	9,8	0,6	2,5
Fumier de cheval, mûr ²	350	240	6,8	0,7	0,7-1,8	2,2	5,0	16,2	19,5	1,3	5,0
Mouton/chèvre											
Fumier de mouton/chèvre ²	270	200	8,0	2,3	3,2-4,8	1,4	3,3	13,3	16,0	1,2	4,7
Porc											
Lisier de porc, engrais ^{1, 8}	50	36	6,0	4,2	3,0-4,2	1,7	3,8	3,7	4,4	0,6	1,3
Lisier de porc, élevage ^{1, 9}	50	33	4,7	3,3	2,4-3,3	1,4	3,2	2,7	3,2	0,5	2,0
Fumier de porc ²	270	40	7,8	2,3	3,1-4,7	3,1	7,0	6,9	8,3	1,2	4,7
Volaille											
Crottes de poules (tapis) ²	350	250	21	6,3	8,4-12,6	7,4	17	9,1	11	2,4	37
Fumier de poule (fosse à crottes, élevage au sol) ²	500	330	27	7	11-16	13	30	16,6	20	4,3	65
Fumier de poulettes	500	430	30	9	12-18	11	26	12,5	15	3,1	14
Fumier de poule ^{2, 10}	650	440	34	10	14-21	8,7	20	23,2	28	5,6	3,8
Fumier de dinde ²	600	400	28	7,5	12-18	10	23	10,8	13	6,0	12

1 La quantité de lisier ou de purin indiquée correspond à du lisier non dilué. Les quantités d'eau supplémentaires, susceptibles d'être déversées dans la fosse à purin, doivent être définies à l'aide du tableau 38. Exemple: pour une dilution de 1:1,5 (part lisier:part eau), la quantité non diluée est de (1+1,5). La dilution usuelle est de 1:1. Grâce à une dilution plus importante avant l'épandage, on peut réduire sensiblement les pertes en ammoniac, principalement durant l'été.

2 Lorsqu'il n'y a pas d'autres informations, les valeurs sont basées sur une décomposition moyenne (voir définitions tabl. 63).

3 Azote total. Par rapport aux déjections de N du tableau 35, les pertes inévitables à l'écurie et au tas (principalement de l'ammoniac) ont été déduites. Pour les 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%.

- 4 Azote soluble (principalement ammoniacal), immédiatement disponible pour la plante mais également susceptible d'être perdu (évaporation d'ammoniac, lixiviation et dénitrification après nitrification).
- 5 Azote disponible. Voir définitions et petites notes dans le tableau 63.
- 6 Plus 5-10%, lorsque l'aliment minéral complémentaire (bovin) est plus élevé que le besoin des animaux, respectivement lorsque la teneur du fourrage est plus élevée que celle que conseillent les stations fédérales (principalement avec le porc et la volaille).
- 7 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 diminue 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.
- 8 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 protéine brute de 170 g/kg de fourrage (13,5 MJ EDP). Une variation de protéines brutes de 10 g/kg engendre une augmentation ou diminution de 8%.
- 9 Il s'agit de quantités d'eau usuelles, y compris celles qui proviennent de biberons d'abreuvoir non étanches. En cas de fortes fuites, la dilution peut être plus importante et la teneur sera respectivement moindre. La production de P_2O_5 est basée sur une teneur en P du fourrage de 5,7 g P/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%.
- 10 Ces données sont valables pour des systèmes de production courants (situation 2001), indépendamment de la durée d'engraissement et du type d'animal.

11.1.4 Préparation des engrais de ferme

L'aération du purin n'apporte pas d'avantages agronomiques ou écologiques décisifs. Cependant, en ce qui concerne les émissions d'odeurs, en confrontant les frais d'installation et les frais de fonctionnement du système, on voit que cette technique est plus avantageuse que le stockage du purin en conditions anaérobies. Lorsque l'aération n'est pas appropriée (trop fréquente et/ou trop intensive), d'importantes pertes d'azote sont inévitables (émission de NH_3).

Les additifs pour le purin sont nombreux sur le marché. Les effets indiqués ne sont pas confirmés et résultent davantage d'une manipulation globale plus minutieuse du purin. La fiche technique ADCF «Additifs pour les purins et lisiers» donne un bon aperçu de la plupart des produits. On peut la commander auprès de l'Association pour le développement de la culture fourragère (ADCF), Agroscope Changins-Wädenswil (ACW), case postale 1012, 1260 Nyon 1.

La séparation du purin est un processus mécanique séparant la fraction solide (engrais à action lente, riche en P) de la fraction liquide, le purin clair (engrais à action rapide, contenant principalement des éléments nutritifs en solution). En séparant les grosses particules solides, les caractéristiques générales du purin sont améliorées. Les avantages du purin clair par rapport au purin non séparé sont les suivants: réduction du volume, pas de couche flottante (donc, en principe, brassage superflu avant l'épandage), pas de bouchons dans les épandeurs, écoulement rapide sur la surface des plantes, meilleure capacité d'infiltration dans le sol, émissions de gaz réduites, amélioration de la valorisation de l'azote. Le désavantage de cette technique réside toutefois dans l'obligation de prévoir deux réservoirs de stockage, un pour la phase liquide et l'autre pour les éléments solides.

La fermentation anaérobie est le phénomène qui intervient dans les installations de biogaz et permet de valoriser du lisier à des fins énergétiques. Il se produit une décomposition de la matière organique, une diminution du taux de matière sèche ainsi qu'une augmentation du pH. Durant le processus anaérobie, la teneur en azote organique diminue et la part d'azote ammoniacal augmente en proportion. La diminution de matière sèche augmente la fluidité du lisier, favorisant une infiltration plus rapide dans le sol et réduisant ainsi le risque de pertes d'azote sous forme gazeuse. Toutefois, l'augmentation du pH et de la proportion d'ammonium accroît le risque de pertes d'azote sous forme gazeuse si le stockage et l'épandage de ce lisier sont inadéquats. L'augmentation de la proportion d'ammonium permet d'estimer de façon plus précise la part d'azote assimilable par les plantes.

Partout où des engrais de ferme sont stockés ou utilisés, il y a des pertes d'azote, principalement sous forme d'ammoniac (NH_3). Les pertes d'azote inévitables à l'étable et durant le stockage sont estimées usuellement à environ 15% pour des bovins en stabulation entravée et à quelque 20% en stabulation libre. Pour les porcs, ces pertes se montent à environ 20% et pour la volaille à 30-50% (**voir remarque 3 au bas du tableau 39**). Des déperditions d'ammoniac par volatilisation ont également lieu lors de l'épandage du lisier ou du fumier. De plus, l'azote organique contenu dans le lisier/purin et le fumier n'est pas immédiatement disponible pour les plantes. Cet azote est intégré dans la matière organique du sol et n'est libéré et disponible pour les plantes qu'après une période de décomposition et de minéralisation qui peut, pour une part, durer des années. Le moment et l'intensité de la minéralisation sont très difficiles à évaluer. L'azote disponible (N_{disp}) des engrais de ferme correspond à la quantité d'azote qui peut être assimilée par les plantes en l'espace de 3 ans, pour peu que les engrais de ferme soient gérés de manière optimale. Cet azote disponible se compose d'une fraction soluble, qui est disponible pour les plantes dès l'épandage, et d'une fraction disponible à moyen terme (2-3 ans après l'épandage), après minéralisation de la matière organique. Le **tableau 40** présente les valeurs d'efficacité moyenne de différents types d'engrais de ferme dans l'année d'utilisation ainsi que leurs effets à moyen terme.

En culture fourragère, on prend en considération plutôt les valeurs supérieures alors qu'en grandes cultures, on utilise plutôt les valeurs inférieures des plages indiquées. Pour estimer l'azote du purin disponible durant l'année d'application, on peut se baser sur la teneur en azote ammoniacal; cette valeur peut être déterminée avec une précision suffisante au moyen d'un test rapide. La différence entre l'azote total (N_{tot}) et l'azote disponible des engrais de ferme est stockée dans le sol, pour une durée indéterminée, sous forme organique (humus).

Tableau 40. Proportion d'azote disponible à moyen terme et durant l'année d'application dans différents engrais de ferme.

Type d'engrais de ferme	Disponibilité de l'azote à moyen terme (% de l'azote total) ¹	Disponibilité de l'azote durant l'année d'application (% de l'azote total) ²	
		Cultures fourragères	Grandes cultures
Lisier (bovin)	50-70	55	45
Purin (pauvre en fèces)	65-85	70	60
Fumier au tas	20-40 ³	20	15
Fumier de stabulation libre	25-50 ³	25	20
Fumier de cheval	10-25 ³	15	10
Fumier de mouton/chèvre	40-60 ³	40	30
Lisier de porc	50-70	60	50
Fumier de porc	40-60 ³	4	35
Crottes de poules (tapis roulant)	40-60 ³	4	40
Fumier de poule (fosse à crottes, élevage au sol)	40-60 ³	4	35
Fumier de volaille (à l'engrais), poulet, dindes	40-60 ³	4	35

1 Dans des conditions de sol et de climat moyennes en Suisse et lorsque l'application est optimale, cette quantité devrait être disponible pour les plantes. Elle comprend à la fois la disponibilité à court terme et l'arrière-effet sur les années suivantes (voir aussi remarques N_{disp} du tableau 63). Pour les parcelles qui reçoivent régulièrement des engrais de ferme, cette disponibilité peut être utilisée dans les calculs du 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 2-3 ans. Avec du lisier, cette manière de faire n'a pas de sens. En cultures fourragères, il faut prendre en compte plutôt les valeurs supérieures de la fourchette alors qu'en grandes cultures, ce sont plutôt les valeurs inférieures. Si les engrais de ferme ne sont pas épandus au moment optimal (après la fin de la période de végétation en automne, en conditions de sol et de climat défavorables, etc.), la valorisation de l'azote peut être nettement inférieure. Une bonne partie de l'azote non valorisé peut être lixivié, entraîné par ruissellement ou volatilisé. Ces pertes sont une charge pour l'environnement et doivent, par conséquent, être réduites au minimum.

2 Lors d'une application optimale d'engrais de ferme, avec des pertes réduites. L'azote restant est minéralisé durant les années suivantes. La minéralisation dépend fortement des conditions de sol et de climat. La disponibilité peut, selon le moment de la minéralisation, avoir des effets agromomiques et/ou économiques différents (rendement et qualité des plantes, pertes) (voir aussi remarques N_{disp} du tableau 63).

3 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'efficacité est souvent encore plus faible dans ces conditions de sol. La disponibilité est également plus faible dans l'année qui suit l'application.

4 Non conseillé sur les prairies naturelles.

11.2.1 Moment d'application du lisier/purin et du fumier

La production de lisier/purin et de fumier est continue. Les possibilités d'épandage sont limitées par le type et les besoins des cultures en éléments fertilisants, le stade de développement des plantes, les conditions pédoclimatiques (aptitude du sol à supporter les passages, risques de pertes en éléments fertilisants). Pour l'application optimale des engrais de ferme, il est indispensable, entre autres, que la capacité de stockage soit suffisante (**voir tabl. 41**), afin d'éviter de devoir épandre à un moment inopportun, voire en dehors de la période de végétation. La **figure 6** montre les époques durant lesquelles l'épandage est judicieux et possible pour différentes cultures.

Tableau 41. Normes pour la durée du stockage du purin servant au calcul du volume de la fosse.

Durée de la période de végétation (selon carte des aptitudes climatiques)	Durées les plus fréquentes enregistrées dans le cadastre de la gestion du bétail	Durée de stockage en mois ¹
A (> 210 jours)	Zones de grandes cultures et zones intermédiaires	3,0-5,0
B (190-210 jours)	Zones de grandes cultures et zones intermédiaires	3,5-5,0
C (180-190 jours)	Zone de collines	4,0-5,0
D (170-180 jours)	Zones de montagne I I	4,5-5,5
E (150-170 jours)	Zones de montagne II à IV	5,0-6,0
F (< 150 jours)	Zones de montagne II à IV	6,0-7,0

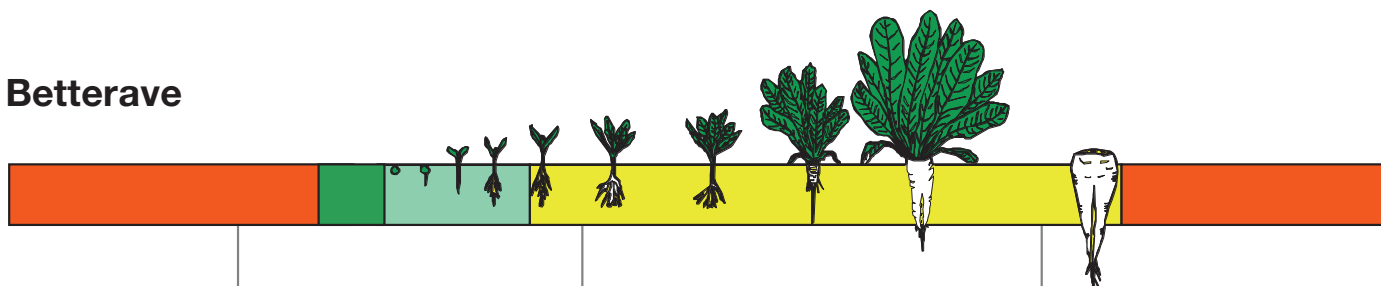
¹ Les données se rapportent à la durée minimale de stockage dans des exploitations où 25% au moins de la surface utile se prête à l'épandage d'engrais de ferme liquides. Dans les exploitations qui pratiquent un assolement simplifié (maïs, céréales), la durée minimale de stockage est plus longue que celle requise par la durée de végétation, mais de 9 mois au maximum.

11.2.2 Critères pour définir le dosage des engrais de ferme

Les quantités d'engrais de ferme dépendent d'une part des quantités d'azote disponible et de phosphore qu'ils contiennent et, d'autre part, des besoins en N et P des cultures. Les doses usuelles de lisier sont de 20-30 m³/ha en production fourragère et de 30-50 m³/ha en grandes cultures. Pour une estimation rapide et suffisamment précise de la teneur en ammonium du lisier, il existe des appareils de mesure rapide (par exemple Güllemax). Les risques de pertes peuvent devenir considérables lorsque les apports sont très importants et/ou les teneurs en N ammoniacal très élevées; aussi lorsque les techniques d'épandage sont inappropriées (**tabl. 53**). Quant aux doses d'épandage maximales, les restrictions figurant dans les **tableaux 44 et 45** doivent être respectées. Les quantités de potassium, de magnésium et de phosphore effectivement appliquées doivent être consignées et prises en compte lors de la prochaine fumure de fond. En principe, la totalité du phosphore, du potassium et du magnésium est comptabilisée dans l'année d'application. Les quantités d'éléments nutritifs apportés par le lisier ne devraient pas dépasser de façon significative les besoins effectifs des cultures.

Fig. 6. ►
Représentation schématique
des possibilités d'épandage du lisier
en fonction du développement
des cultures.

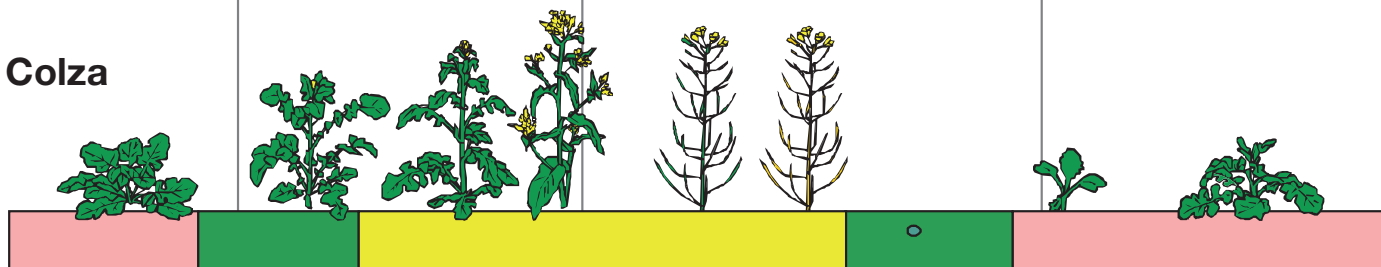
Betterave



Pomme de terre



Colza



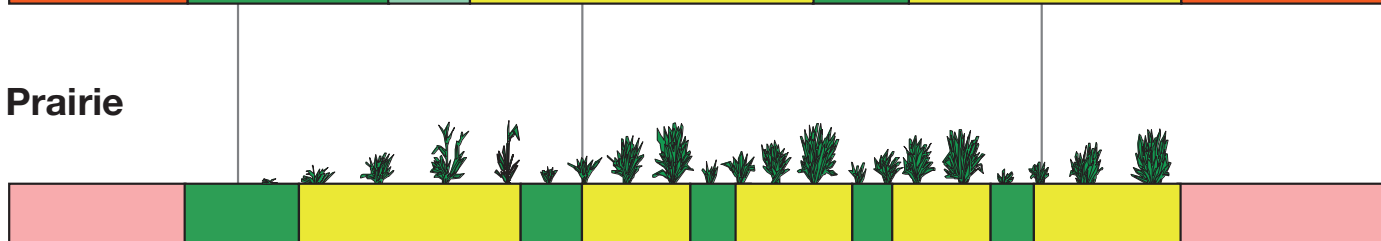
Maïs



Céréales



Prairie



janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
---------	---------	------	-------	-----	------	---------	------	-----------	---------	----------	----------

Epoque où l'épandage peut être conseillé

- Optimale et maximum d'efficacité
- Optimale mais techniquement difficile

Epoque où l'épandage est déconseillé

- Très dangereux pour l'environnement (lessivage d'azote)
- Faiblement dangereux pour l'environnement
- Impossible pour des raisons techniques

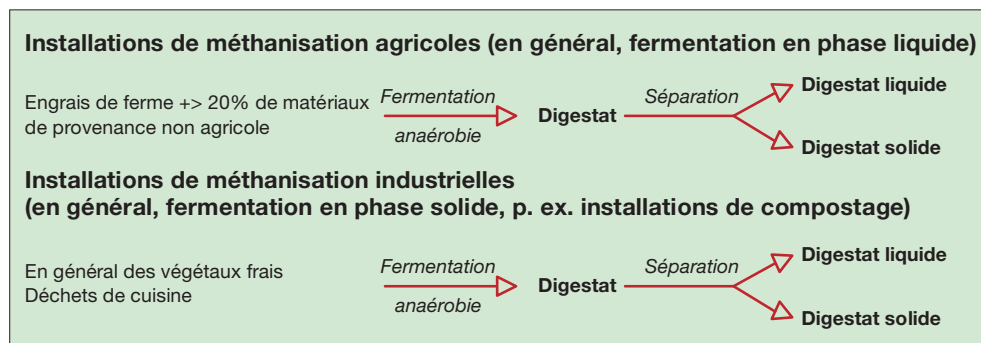


Fig. 7. Digestats d'installations de méthanisation agricoles avec une part de plus de 20% de matériaux d'origine non agricole et digestats d'installations de méthanisation industrielles.

12 Engrais de recyclage

Les composts et les digestats (résidus de méthanisation) comptent parmi les engrais de recyclage. Le compost est issu de la décomposition aérobie de matériaux végétaux ou animaux tandis que les digestats sont issus du processus de méthanisation, en condition anaérobie.

Les digestats sont divisés en produits liquides et solides; ils proviennent généralement d'installations de méthanisation agricoles ainsi que de stations de traitement des ordures (**fig. 7**). Selon l'ordonnance sur les engrais (OEng, art 5b), les digestats sont qualifiés de liquides lorsque leur teneur en matière sèche est inférieure à 12%. Les jus de pressage, issus de fermentations en phase solide, peuvent toutefois renfermer des teneurs en matière sèche plus élevées (**tabl. 42**). Les digestats provenant d'installations de méthanisation agricoles ne comptent comme engrais de recyclage que lorsque plus de 20% de matériaux de provenance non agricole ont été ajoutés aux engrais de ferme.



12.1 / 12.2

12.1 Teneurs en éléments nutritifs dans les engrais de recyclage

Dans les digestats et les composts, les teneurs en éléments nutritifs peuvent être très variables selon les matériaux dont ils sont issus (**tabl. 42**). Pour cette raison, il est préférable de se fonder sur les valeurs mentionnées sur le bulletin de livraison du produit, si elles sont disponibles, plutôt que sur les valeurs indicatives du **tableau 42**. Les épandages doivent se calculer en tenant compte des besoins des plantes en nutriments, de l'efficacité du produit concerné, de l'arrière-effet d'apports antérieurs ainsi que du niveau de fertilité du sol. Les contrôles de routine garantissent que les engrais de recyclage utilisés en agriculture sont pauvres en polluants.

12.2 Indications pour l'utilisation des digestats

Digestat liquide provenant d'installations de méthanisation agricoles: le digestat issu d'une fermentation anaérobie présente des caractéristiques différentes du lisier non fermenté, dont il s'agit de tenir compte pour la fumure. La teneur en matière sèche et la viscosité du lisier sont diminuées par la fermentation: le digestat liquide coule ainsi mieux que le lisier non fermenté et peut s'infiltrer plus rapidement dans le sol. Après la dégradation de la matière organique dans le matériel initial pendant la fermentation, une partie de l'azote lié à la matière organique est minéralisé (azote ammoniacal), devenant ainsi disponible pour les plantes. Le processus fermentaire fait diminuer la teneur en azote lié à la matière organique du lisier et augmenter la teneur en azote ammoniacal. Il en résulte également une élévation du pH, une partie de l'azote lié à la matière organique étant transformée en carbonate d'ammonium. Ces augmentations de concentration en azote ammoniacal et de pH accroissent les risques de pertes d'ammoniac durant le stockage et l'épandage. Il faut par conséquent:

- Epandre en recourant à une technique appropriée (par exemple rampe à pendillards) afin d'éviter les pertes de fertilisants et d'autres émissions
- Sur les terres sans culture, incorporer le produit immédiatement dans le sol
- Epandre seulement si les conditions météorologiques sont appropriées (frais, humide).

Digestat liquide provenant d'installations industrielles: à cause de leur teneur élevée en azote soluble (**tabl. 42**), les principes d'utilisation sont les mêmes que pour le digestat liquide issu d'installations de méthanisation agricoles.

Digestat solide: il peut être épandu tel quel, mélangé à du compost ou composté.

Tableau 42. Teneurs (valeurs médianes, minimales et maximales) en matière sèche (MS), en matière organique (MO) ainsi qu'en éléments fertilisants des engrais de recyclage.

	Engrais de recyclage			
	Digestat solide ¹ (IMI) ³	Digestat liquide ¹ (IMI) ³	Compost ²	Chaux d'Aarberg
	kg par t de matière fraîche			
MS	490	130	510	700
Min	290	50	220	
Max	820	230	930	
n ⁴	197	106	1041	
MO	235	61	214	110
Min	44	47	46	
Max	368	77	480	
n	197	106	1041	
N_{tot}	6	4	7	
Min	2	2	2	
Max	14	8	15	
n	197	106	1039	
N_{sol}⁵	0,3	2	0,3	
Min	0,005	1	0,01	
Max	2,5	5	3	
n	197	82	362	
N_{disp} (%)	6	6	5-10	70-80
P (P₂O₅)	0,1 (3)	0,9 (2)	0,1 (3)	4,8 (11)
Min	0,4 (1)	0,4 (1)	0,4 (1)	
Max	3,5 (8)	1,7 (4)	6,5 (15)	
n	197	106	1038	
K (K₂O)	4,2 (5)	3,3 (4)	4,2 (5)	
Min	1,7 (2)	0,8 (1)	1,7 (2)	
Max	12,5 (15)	6,6 (8)	14 (17)	
n	197	106	1038	
Mg	3	1	3	6
Min	1	0,5	0,5	
Max	7	2	10	
n	197	106	1038	
Ca	25	5	25	220
Min	11	3	7	
Max	80	11	28	
n	197	106	943	
Salinité (mS/cm)⁷	3	12	3	
Min	0,6	7	0,6	
Max	8	30	8	
n	197	82	481	

1 La base de données étant actuellement beaucoup trop restreinte pour les digestats, tant solides que liquides, issus d'installations de méthanisation agricoles, aucune valeur ne peut encore être fournie.

2 Composts de déchets biogènes (déchets organiques de ménage et de jardin). Médiane des valeurs provenant de différentes préparations (composts frais, composts mûrs, composts faits au champ, etc.). Poids volumique: 500-800 kg/m³.

3 Installations de méthanisation industrielles.

4 Nombre d'échantillons analysés.

5 Azote immédiatement disponible pour les plantes (ammonium et nitrate).

6 Les résultats d'essais en plein champ sont momentanément trop peu nombreux pour donner une indication valable sur la disponibilité moyenne de l'azote des digestats, liquides ou solides. On admet que, l'année de l'épandage, la disponibilité de l'azote dans les digestats d'installations de méthanisation agricoles correspond au moins à celle des engrais de ferme (tabl. 40). Comme la teneur en azote ammoniacal augmente durant le processus fermentaire et que le rapport C:N baisse, le coefficient d'utilisation de l'azote peut parfois dépasser celui des engrais de ferme non méthanisés lors de l'année d'épandage, si la technique d'épandage est optimale (p. ex. rampe à pendillards).

7 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 (p. ex. maïs, pomme de terre, haricot, pois, trèfle violet, tabac).

12.3 Restrictions légales pour l'épandage d'engrais de recyclage

Par période de 3 ans, 25 t par hectare de compost et de digestat solide (d'après la teneur en matière sèche) ou 200 m³ de digestat liquide peuvent être épandus comme fumure au maximum, pour autant que les besoins des plantes en N et P ne soient pas dépassés. Par période de 10 ans, au maximum 100 t de compost et de digestat solide (selon la teneur en matière sèche) peuvent être apportées à titre d'amendement, de substrat, de protection contre l'érosion, pour la remise en culture ou comme terre artificielle. (ORRchim, annexe 2.6.)

13 Nutrition des plantes en culture biologique

En culture biologique, un des principes consiste à boucler au mieux le cycle des éléments fertilisants sur l'exploitation. La production est principalement basée sur le recyclage des éléments nutritifs afin de conserver les ressources naturelles. Les apports en éléments nutritifs et la charge en bétail, adaptée à la productivité du site, sont en général inférieurs à ceux des exploitations classiques. Des mesures culturales ciblées visent à optimiser la production végétale en améliorant les caractéristiques chimiques, biologiques et physiques du sol. Un apport régulier d'engrais organiques (engrais de ferme, compost, résidus végétaux, etc.) en culture biologique renforce le pool organique du sol et en augmente les ressources naturelles (en azote, phosphore, etc.). Pour éviter de charger l'environnement, les pertes en éléments nutritifs dans l'atmosphère ainsi que dans les eaux de surface ou les eaux souterraines sont réduites au minimum. En culture biologique, des solutions à long terme sont recherchées au niveau de l'exploitation; la rotation des cultures et la gestion des engrais y jouent un rôle important.

13.1 Fertilisation azotée

L'azote joue un rôle important dans la production végétale; une carence se traduit par une diminution de rendement. En renonçant aux engrais de synthèse, il faut recourir aux engrais organiques et tirer parti de la fixation biologique de N₂ par les légumineuses et des substances organiques disponibles dans le sol. De plus, une quantité non négligeable d'azote est apportée par la voie atmosphérique. En culture biologique, le pool d'azote non organique disponible dans le sol est rarement important. L'approvisionnement des plantes se fait en majeure partie indirectement par l'intermédiaire du pool d'azote organique du sol. Pour que l'azote lié à la matière organique du sol puisse être utilisé par les plantes, il doit d'abord être minéralisé par les micro-organismes du sol sous forme d'ammonium ou de nitrate. Le taux de minéralisation de l'azote dépend par conséquent de l'activité microbienne dans le sol; celle-ci, à son tour, est influencée par la teneur en eau et en oxygène du sol, sa température ainsi que par les disponibilités en éléments organiques.

Disponibilité de l'azote

Selon l'organisation de la rotation des cultures, il peut y avoir de plus ou moins bonnes phases de disponibilité de l'azote dans le sol. Après un retournement de prairie ou une culture de légumineuses à graines par exemple, une quantité d'azote minéral relativement importante peut être libérée. Celle-ci diminue en fonction du temps écoulé depuis



le retournement. Afin d'exploiter au maximum la disponibilité de l'azote dans le sol, il est conseillé d'installer une culture exigeante en azote (pomme de terre ou blé d'automne, par exemple) directement après une culture de légumineuses, alors qu'une culture moins exigeante sera mise en place plus tard, généralement en fin de rotation. L'organisation de la rotation influence non seulement la disponibilité en azote mais également la structure du sol (aération, capacité de rétention d'eau), qui agit sur l'activité microbienne responsable de la minéralisation et de l'immobilisation des éléments nutritifs.

La teneur en azote des engrais de ferme ainsi que sa disponibilité peuvent varier fortement selon le type de bétail, la composition des fourrages, le mode de stabulation et le type de stockage. Il est difficile d'estimer le moment exact où l'azote est libéré des composants organiques des engrais de ferme avec, pour conséquence, que la disponibilité de l'azote concorde souvent mal avec les besoins réels des plantes. Le défi majeur dans l'utilisation des engrais de ferme est de synchroniser la libération de l'azote avec les besoins des cultures, afin de valoriser le plus mieux possible l'azote disponible. Compte tenu de ces éléments, l'utilisation d'engrais de ferme doit être planifiée et ciblée. Cependant, la quantité d'azote disponible dans les engrais de ferme de l'exploitation ne suffit généralement pas à assurer complètement la nutrition azotée des cultures. L'intégration de légumineuses dans la rotation des cultures et l'incorporation de résidus végétaux dans le sol constituent des sources d'azote supplémentaires, ce qui est fondamental en agriculture biologique.

Fixation symbiotique de l'azote atmosphérique (N₂)

La fixation symbiotique de l'azote atmosphérique est assurée par une symbiose entre les légumineuses et les bactéries des nodosités. Après le retournement d'une prairie par exemple, l'azote fixé par les légumineuses devient disponible pour la culture qui suit grâce à la minéralisation de l'azote des résidus végétaux réalisée par les micro-organismes du sol. Le potentiel de fixation de l'azote des différentes légumineuses est cependant très variable; il dépend de nombreux facteurs comme par exemple l'espèce, l'âge de la prairie temporaire, la quantité d'azote disponible dans le sol, le climat. La capacité de fixation des mélanges fourragers à base de trèfle et de graminées dans leur biomasse de surface peut atteindre 250 kg N par ha et par an. Pour les légumineuses à graines, cette capacité se situe entre 120 et 240 kg N par ha et par an en conditions de croissance optimales.

Résidus végétaux

Les résidus végétaux représentent également une source d'azote importante pour la culture suivante. Selon la quantité et la qualité des résidus végétaux, entre 5 et 20% de l'azote qu'ils contiennent peut profiter à la culture suivante. En incorporant dans le sol des résidus riches en azote, avec un rapport C/N bas, la minéralisation est rapide et la quantité d'azote minéral disponible dans le sol augmente ainsi rapidement. En utilisant des résidus pauvres en azote, avec un rapport C/N élevé, comme c'est le cas pour la paille de blé, la minéralisation de N se fait lentement. Dans les cas défavorables, l'azote des résidus végétaux avec un rapport C/N élevé peut être immobilisé par les micro-organismes du sol et ainsi temporairement indisponible pour les plantes.

13.2 Fumure phospho-potassique

Les éléments nutritifs P et K réintègrent en grande partie le système, soit par l'utilisation d'engrais organiques (engrais de ferme, résidus végétaux, compost), soit par le prélèvement naturel des plantes dans les réserves du sol. Dans les sols réputés peu ou moyennement pourvus (comme dans des exploitations sans bétail), les éléments P et K peuvent être apportés par le biais d'engrais autorisés (voir la liste des intrants autorisés du FiBL).

Des analyses de sol régulières permettent de mesurer l'état de fertilité du sol et d'identifier à temps son éventuelle diminution. La métabolisation des éléments nutritifs dans le sol est réalisée par les micro-organismes du sol, les racines des plantes ainsi que par des processus pédo-chimiques lents. C'est pour cette raison que, dans les rotations de culture biologique, les engrais du commerce P et K ne sont pas appliqués en relation avec les cultures mais apportés de préférence aux légumineuses: celles-ci ont, d'une part, un besoin élevé en P et, d'autre part, la faculté d'extraire relativement bien les éléments P et K présents sous forme peu soluble.

14

Fumure et environnement



14.1 La fumure fait partie du cycle des éléments nutritifs

Grâce à la fumure, les éléments qui sont prélevés par la production végétale sont rendus au sol. Sur de nombreuses exploitations, les engrais de ferme (fumier, purin) et les résidus de récolte assurent une part importante dans la restitution des éléments fertilisants. Les nutriments provenant de l'extérieur de l'exploitation (engrais organiques et minéraux) sont réservés à la couverture d'éventuels déficits entre les besoins des cultures et les fournitures internes à l'exploitation. Pour éviter des pertes de fertilisants qui chargent l'environnement et maintenir la fertilité du sol à long terme, il faut que les quantités de nutriments qui entrent et qui sortent du cycle des éléments fertilisants (**voir fig.1**) tendent vers l'équilibre. Pour cette raison, la charge en bétail d'une exploitation, et par conséquent la production d'engrais de ferme, doit être définie en fonction des besoins des cultures et du niveau de fertilité des sols, en se conformant à une intensité d'exploitation adaptée au site. Dans les exploitations intensives de plaine, par conséquent, de plus grandes quantités d'éléments fertilisants peuvent être valorisées que dans les exploitations de montagne et la charge en bétail par unité de surface peut être plus élevée.

14.2 Aptitude potentielle des engrais à s'intégrer dans une fumure dirigée, économique et respectueuse de l'environnement

Selon ses caractéristiques spécifiques, chaque engrais présente un risque potentiel différent pour l'environnement (**tabl. 43**). Les coûts pour un stockage et un épandage des engrais qui ménagent l'environnement diffèrent d'un produit à l'autre. La charge potentielle des engrais de ferme et des engrais à base de déchets pour l'environnement est plutôt élevée. Comme toute production animale génère des engrais de ferme, le moyen le plus évident pour ménager l'environnement est de les utiliser directement sur l'exploitation pour la production végétale. Toutes les dispositions doivent donc être prises pour exploiter les engrais de ferme de manière écologique (teneurs optimales des éléments fertilisants dans les fourrages, stockage, moments et techniques d'épandage).

Tableau 43. Risques potentiels présentés par différents engrais pour l'environnement et coûts pour réduire la charge sur le sol, l'eau et l'air.

Dans ce tableau, la fosse à purin, le tas de fumier et l'exploitation constituent les limites du système. Les risques potentiels pour l'environnement liés aux engrais de ferme dans les étables, aux engrais minéraux et aux engrais à base de déchets lors de leur préparation et de leur transport n'ont pas été pris en considération. On part du principe que tous les engrais sont appliqués de manière optimale, aussi bien pour la quantité que pour le moment d'application.

Types d'engrais	Charge potentielle pour				Critères techniques et économiques		
	Nappe phréatique ¹	Eaux de surface ²	Air ³	Sol ⁴	Coût pour le stockage et la manutention	Coût pour un épandage précis	Coût et limitations liés à un épandage épargnant l'environnement ⁶
Purin/lisier	3	3	3	3	3	3	3
Fumier	3	2	2	2	2	2	3
Jus de pressage	3	3	3	3	2	3	3
Compost	2	2	2	2	1	2	2
Engrais minéral N ⁵	2	1	2	1	1	2	2
Engrais minéral P ⁵	1	1	0	2	1	2	1
Engrais minéral K ⁵	2	1	0	1	1	2	1
Engrais minéral Mg ⁵	1	1	0	1	1	2	1
Engrais minéral S ⁵	2	1	0	1	1	2	1

0 = pas de charge, 1 = charge relativement minime, 2 = moyenne, 3 = relativement élevée.

1 Charge en nitrates, chlorures, sulfates, etc., agents pathogènes.

2 Charge en phosphore et azote, agents pathogènes.

3 Ammonium, azote nitreux, méthane.

4 Substances dangereuses, tassement.

5 Les charges liées à la fabrication et au transport jusqu'à l'exploitation ne sont pas prises en compte.

6 Investissements (bâtiments, machines), temps de travail.

Ce ne sont pas seulement les engrais de ferme eux-mêmes qui représentent un risque pour l'environnement, mais surtout la quantité utilisée. Lorsque la production d'engrais de ferme par unité de surface augmente, la charge sur l'environnement augmente de manière plus que proportionnelle. C'est pourquoi la charge en bétail d'une exploitation doit impérativement être adaptée à la production de fourrage interne à l'exploitation. Par hectare de terre cultivée, la charge maximale en engrais de ferme ne devrait pas dépasser la production de 1 UGB (ou la production de N et/ou de P équivalente pour une autre catégorie d'animaux). Sur les surfaces fourragères intensives et mi-intensives, cette valeur se situe autour de 2 UGB (avec une gradation correspondant au potentiel de production du site). Ces valeurs s'appliquent aux régions de plaine et se réduisent en fonction de l'altitude.

Tableau 44. Mesures contre les pertes par percolation et ruissellement.

Paramètres	Conditions	Risque de pertes par lixiviation et percolation; charge admissible d'engrais organiques liquides	Mesures concernant l'épandage d'engrais liquides; dose maximale par apport ¹
Conditions météorologiques	Précipitations de forte intensité ou de longue durée	Très élevé; charge admissible nulle	Ne pas épandre
Porosité du sol	a. Répartition et taille des pores: – grande perméabilité, gros pores, sols crevassés, infiltration facilitée – perméabilité limitée, pores fins, eau stagnante – perméabilité normale, pores moyens b. Capacité de rétention: – sol sans capacité de rétention, saturé d'eau – sol avec capacité de rétention de 3-5 mm – sol avec bonne capacité de rétention, supérieure à 5 mm	Elevé; charge admissible faible à nulle Moyen; charge admissible restreinte Modéré; charge admissible normale Très élevé; charge admissible nulle Moyen; charge admissible restreinte Modéré; charge admissible normale	Jusqu'à 25 m ³ /ha Jusqu'à 40 m ³ /ha Jusqu'à 60 m ³ /ha ¹ Ne pas épandre Jusqu'à 40 m ³ /ha Jusqu'à 60 m ³ /ha ¹
Profondeur physiologique utile du sol	a. Profondeur utile réduite à insuffisante (moins de 30 cm) b. Profondeur utile suffisante (30-50 cm) c. Profondeur utile bonne à très bonne (plus de 50 cm)	Elevé; charge admissible faible Moyen; charge admissible restreinte Modéré; charge admissible normale	Jusqu'à 25 m ³ /ha Jusqu'à 40 m ³ /ha Jusqu'à 60 m ³ /ha ¹
Capacité de rétention du sol	a. Sol à faible capacité de rétention: teneur en humus < 2% teneur en argile < 10% b. Sol avec capacité de rétention moyenne: teneur en humus < 5% teneur en argile > 30% c. Sol avec bonne capacité de rétention: teneur en humus 2 à 10% teneur en argile 10 à 30%	Elevé; charge admissible faible Moyen; charge admissible restreinte Modéré; charge admissible normale	Jusqu'à 25 m ³ /ha Jusqu'à 40 m ³ /ha Jusqu'à 60 m ³ /ha ¹
Occupation du sol	a. Besoins en éléments fertilisants immédiats ou à court terme b. Besoins en éléments fertilisants nuls: – Grandes cultures – Prairies	Modéré; charge admissible normale Très élevé; charge admissible nulle Elevé; charge admissible faible	Apports en quantités raisonnables Ne pas épandre Jusqu'à 25 m ³ /ha

¹ Compte tenu des besoins des plantes, ces quantités sont trop élevées et devraient être évitées, en particulier en production fourragère.

Les pertes en éléments fertilisants sont à la fois un manque à gagner pour l'agriculteur et une charge sérieuse pour l'environnement. Les principales formes de pertes sont la lixiviation, la percolation, l'érosion et la volatilisation. Ces pertes qui portent préjudice à l'environnement peuvent aussi se produire sur des surfaces non cultivées. Des pertes d'azote issues du système sol-plante peuvent aussi intervenir par dénitrification (consommation d'azote liée à l'activité des micro-organismes du sol). Dans ce processus, les nitrates sont transformés en substances azotées gazeuses.

Le risque de pertes augmente lorsque la fertilisation n'est pas réalisée de manière adéquate. Il peut être réduit en prévoyant une capacité de stockage suffisante pour les engrais de ferme (**tabl. 41**) afin de pourvoir épandre le fumier et le purin au moment opportun.

14.3.1 Percolation et lixiviation

Par lessivage, les éléments nutritifs solubles (azote nitrique, magnésium, calcium, soufre, etc.) sont transportés jusqu'à la nappe phréatique par l'eau qui percole à travers le sol. Dans certaines conditions de sol, les engrais liquides peuvent également être entraînés au-dessous de la zone explorée par les racines. Ces deux types d'entraînements en profondeur, hors de la zone des racines, portent préjudice à la qualité de l'eau de la nappe phréatique. Des techniques culturales appropriées permettent de diminuer sensiblement les risques de pertes par percolation et par lixiviation (**tabl. 44**).

14.3.2 Entraînement par ruissellement

Lorsqu'il pleut, les engrais qui sont à la surface du sol peuvent être emportés par ruissellement. Les éléments nutritifs ainsi entraînés chargent les eaux de surface (eutrophisation, mort des poissons, etc.). Lorsqu'ils sont utilisés de manière inappropriée et lorsque les conditions de sol et de climat sont défavorables, les engrais liquides peuvent ruisseler en surface directement après l'épandage. Le **tableau 45** montre quelles sont les précautions à prendre pour prévenir ces risques.

Tableau 45. Mesures contre les pertes par ruissellement.

Paramètres	Conditions	Risque de pertes par ruissellement; charge admissible d'engrais organiques liquides	Mesures concernant l'épandage d'engrais, dose maximale par apport
Conditions météo	Pluie persistante ou orage imminent	Très élevé; charge admissible nulle	Ne pas épandre
Porosité du sol	a. Sol non cultivé:		
	– capacité d'infiltration réduite (terre compactée, croûtée, battante, saturée d'eau, fortement gelée)	Très élevé; charge admissible nulle	Ne pas épandre
	– bonne capacité d'infiltration (terre meuble, ressuyée, surface rugueuse)	Moyen à modéré; charge admissible restreinte à normale	Jusqu'à 60 m ³ /ha ¹
	b. Sol cultivé:		
	– capacité d'infiltration réduite (terre compactée, croûtée, battante, saturée d'eau, fortement gelée)	Très élevé; charge admissible nulle	Ne pas épandre
	– bonne capacité d'infiltration (terre meuble, ressuyée, surface rugueuse)	Modéré; charge admissible normale	Jusqu'à 60 m ³ /ha ¹
Conditions topographiques	c. Couche de neige		
	– neige sèche et froide	Très élevé; charge admissible nulle	Ne pas épandre
	– neige fondante	Très élevé; charge nulle	Ne pas épandre
	Pente jusqu'à 18%	Modéré; charge admissible normale	Jusqu'à 60 m ³ /ha ¹
	Pente de 19 à 35%	Moyen; charge restreinte	Jusqu'à 40 m ³ /ha
	Pente de 36 à 50%	Élevé; charge faible	Jusqu'à 25 m ³ /ha
	Pente de plus de 50%	Très élevé; charge nulle	Ne pas épandre

¹ Compte tenu des besoins des plantes, ces quantités sont trop élevées et devraient être évitées, en particulier en production fourragère.

L'ammoniac (NH_3) issu de l'ammonium (NH_4) se volatilise dans l'air sous forme gazeuse pour retomber plus tard en majeure partie sur le sol. Certains écosystèmes sensibles peuvent être endommagés par ces apports atmosphériques (surfumure, acidification). En outre, cet ammoniac influence divers processus indésirables dans l'atmosphère.

La réduction des pertes d'ammoniac est au bénéfice de l'exploitation agricole puisqu'il reste plus d'azote disponible pour les plantes. Pour réduire les pertes d'ammoniac à l'étable et durant le stockage des engrais de ferme, il faut diminuer les surfaces sales, les nettoyer régulièrement et couvrir les fosses à purin.

Toutefois, c'est après l'épandage des engrais de ferme qu'interviennent les plus grosses pertes d'ammoniac. Des mesures simples pour diminuer ces pertes sont résumées dans le **tableau 46**. Avec des préalables convenables, les pertes en ammoniac peuvent être réduites de façon significative par des techniques d'application judicieuses (pendillards, pendillards à sabot, enfouisseur à lisier).

Tableau 46. Facteurs qui influencent la volatilisation de l'ammoniac et mesures pour y remédier.

Paramètre	Conditions	Risque	Mesures pour réduire les pertes d'ammoniac	
			Lisier, purin ou jus de pressage	Fumier et résidus de méthanisation
Conditions météorologiques	Température de l'air élevée, air sec, vent Frais, humide, sans vent Pluie durant l'épandage	Elevé Moyen Faible	Epandre durant les jours froids et humides; épandre en fin d'après-midi ou le soir; épandre juste avant ou durant une faible pluie (attention au ruissellement)	Epandre durant les jours froids et humides; épandre juste avant ou durant une faible pluie (attention au ruissellement)
Degré de dilution du purin ou du lisier	Non dilué Moyennement dilué (jusqu'à 1:1) ¹ Fortement dilué (jusqu'à 1:2) ¹	Elevé Moyen Faible	Lisier de bovin: diluer au moins 1:1, mieux 1:2 ¹ Purin, lisier de porc: diluer au moins 1:2, mieux 1:3 ¹	
Etat du sol	Surface du sol saturée d'eau, desséchée, compactée, battante, encroûtée Sol humide ayant une bonne capacité d'absorption	Elevé Faible à moyen	N'appliquer que sur des sols ayant une bonne capacité d'absorption	
Couverture du sol en grandes cultures	Couverture de paille hachée, mulch, résidus de végétaux (semis direct) Couvert végétal dense Sans couvert végétal	Elevé Moyen à élevé Moyen	Déchaumage avec injection simultanée (tonne à purin avec dispositif d'incorporation) ou déchaumage avant l'épandage du purin/lisier Apport de purin dans le maïs après sarclage dans les interlignes Diluer suffisamment le purin	
Technique d'épandage	Epandage en surface Application localisée ³ Enfouissement dans le sol ^{2, 3}	Elevé Moyen Faible	Pendillards, pendillards à sabot, injection profonde, épandage avec incorporation simultanée	Incorporer immédiatement (dans les premières heures après l'application) avec la charrue ou le cultivateur

1 Part de lisier: part d'eau.

2 Une dilution particulière n'est pas nécessaire.

3 Seulement pour le lisier.

14.4 Conséquences d'une surfumure

Si durant plusieurs années, pour un élément, les apports sont supérieurs aux exportations, le sol s'enrichit ou cet élément se perd dans l'eau et/ou l'atmosphère. Un fort enrichissement peut avoir les conséquences négatives suivantes: déséquilibre entre les éléments nutritifs du sol, teneurs excessives dans les plantes (nitrates ou potassium, par exemple) portant préjudice à la santé de l'homme et des animaux, modification de la composition botanique des prairies (invasion de mauvaises herbes, appauvrissement de la diversité, etc.), accroissement du risque de pertes en éléments fertilisants, etc.

14.5 Substances dangereuses et agents pathogènes

Par la fertilisation, des **substances dangereuses** peuvent également être apportées dans le sol et s'y accumuler, parmi lesquelles des métaux lourds. Ceux-ci ne proviennent pas que d'engrais à base de déchets, mais également des engrais de ferme (cuivre et zinc dans le purin de porc) et des engrais minéraux (par exemple le cadmium dans les engrais phosphatés). Les prescriptions qui figurent dans l'Ordonnance sur les engrais (Oeng, RS 916.171) et l'Ordonnance sur le livre des engrais (Olen, RS 916.171.1) ainsi que les valeurs-limite des substances dangereuses dans l'annexe 2.6 de l'Ordonnance sur la réduction des risques chimiques (ORRChim, RS 814.81) ont entre autres pour objectif de réduire au minimum la charge de ces produits dans le sol et dans les récoltes. L'effet de l'accumulation de polluants organiques dangereux et de substances analogues aux hormones dans le sol n'est pas encore bien connu. Ces dernières proviennent partiellement des engrais à base de déchets.

Des **agents pathogènes** peuvent également être apportés au sol par les engrais de ferme et les engrais à base de déchets dans lesquels ils peuvent survivre durant plusieurs mois. Le stockage du lisier et l'échauffement lors du compostage permettent, la plupart du temps, de les rendre inoffensifs.

14.6 Résumé des recommandations pour une fumure ménageant l'environnement

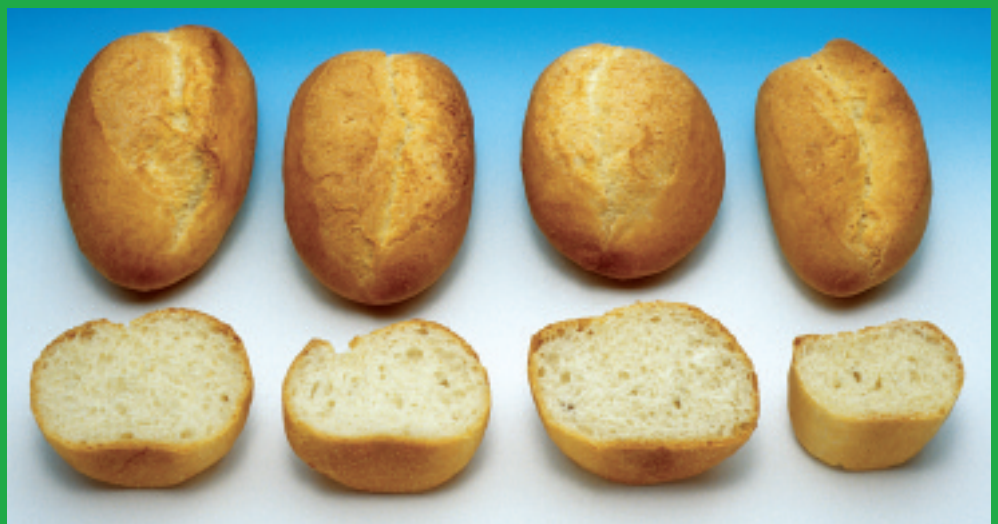
Une fumure dirigée respectueuse de l'environnement garantit le maintien de la fertilité du sol à long terme, réduit les pertes en éléments fertilisants, diminue les coûts d'engrais et contribue à préserver les eaux de surface, les nappes phréatiques et la qualité de l'air. Il est cependant souvent difficile de fertiliser les cultures en remplissant simultanément toutes les conditions permettant de protéger l'environnement. C'est le devoir de tout agriculteur d'organiser la fumure de son domaine en fonction de son expérience, avec l'aide de la vulgarisation et des moyens à disposition pour qu'elle soit appliquée conformément aux besoins des plantes, au moment opportun, tout en tenant compte des conditions du site et du climat. Il faut noter cependant que certaines mesures visant à réduire des pertes potentielles (comme la volatilisation du NH_3) peuvent, par ailleurs, favoriser d'autres pertes (ici, le lessivage de NO_3).

Principales mesures de protection de l'environnement

- Adapter la charge en bétail au site et aux besoins en éléments fertilisants des cultures.
- Planifier soigneusement la fertilisation (plan de fumure) en tenant compte de la rotation des cultures et de résultats d'analyses de terre fiables.
- Utiliser de façon ciblée les fertilisants contenus dans les engrais de ferme de l'exploitation. Employer les fertilisants provenant de l'extérieur (engrais de ferme de tiers, engrais à base de déchets, engrais minéraux) uniquement pour compléter les besoins non couverts par les engrais de ferme du domaine.
- Éviter les apports d'engrais en dehors de la période de végétation (prévoir une capacité de stockage suffisante pour le purin et le fumier).
- Appliquer les engrais uniquement lorsque le sol est capable de les absorber (éviter les sols saturés d'eau, fortement compactés, battants, couverts de neige ou gelés). Les sols drainés requièrent une attention particulière.
- Adapter le type d'engrais, la dose et le moment d'épandage aux besoins des plantes, aux caractéristiques du sol et du milieu ainsi qu'aux conditions météorologiques.
- Épandre le purin/lisier et le fumier par temps frais et modérément venteux (si possible température inférieure à 15 °C et humidité relative de l'air supérieure à 70% durant l'épandage et les 24 heures suivantes). En grandes cultures, travailler le sol autant que possible avant l'épandage des engrais ou les incorporer rapidement dans le sol.
- Éviter de laisser le sol sans couverture végétale (prévoir une culture dérobée, un engrais vert, un semis sous litière, etc.).

15

Fumure et qualité des produits



Le rendement n'est pas le seul objectif visé par la fumure. Elle vise aussi à optimiser la qualité du produit récolté. Cette qualité comporte un aspect externe (forme, taille, couleur, etc.) et un aspect interne, caractérisé principalement par la teneur en certaines composantes: protéines, amidon, sucres, vitamines, éléments minéraux, etc. Une fertilisation sur- ou sous-estimée engendre souvent une augmentation ou une diminution des teneurs caractérisant la qualité du produit récolté. On utilise alors volontiers l'expression fumure de qualité. L'augmentation de la teneur en protéines des céréales induite par des apports d'azote tardifs à l'épiaison ou la réduction de la teneur en sucre dans les betteraves, liée à une trop grande quantité d'azote disponible, en sont des exemples classiques. De tout temps, en matière de fertilisation, d'autres critères que le rendement ont été pris en considération: la qualité des produits récoltés, la composition botanique qui fait partie de la qualité du paysage ainsi que la qualité de l'air, de l'eau et du sol, qui exigent de maîtriser les pertes en éléments fertilisants.

15.1 Céréales

Les céréales à paille trouvent des débouchés dans plusieurs domaines. La majorité de la production est utilisée soit pour la panification (blé, seigle), soit pour l'affouragement (triticale, orge, blé fourrager, avoine). Une petite partie des blés est écoulée à travers d'autres produits tels que biscuits, flocons, soupes, etc. En Suisse, les variétés de blé sont étudiées et classées d'après leurs qualités et sont recommandées pour les divers objectifs d'utilisation. Bien que la génétique ait un effet prépondérant, la fumure azotée peut influencer significativement la qualité finale recherchée (Levy *et al.*, 2007). Les exigences de qualité dictées par la filière de transformation sont spécifiques à chaque utilisation. Elles sont très différentes et parfois opposées.

15.1.1 Influence de la fumure azotée sur la qualité des blés panifiables

Il est connu que la fumure azotée augmente la teneur en protéines dans les céréales, quoiqu'une teneur plus élevée ne garantisse pas forcément une meilleure qualité boulangère. Une fumure azotée plus importante engendre une modification de la composition des protéines: le taux de gluten humide augmente, tandis que l'indice de gluten diminue. Des études récentes ont confirmé une amélioration des critères rhéologiques: l'indice de sédimentation Zeleny augmente, la pâte devient plus stable, sa perte de consistance est moins élevée, le pouvoir de gélatinisation est plus important, tout comme la ténacité et le rapport ténacité/extensibilité. Les grains deviennent plus durs avec un apport d'azote plus important. Le poids à l'hectolitre est essentiellement déterminé par la variété, mais une fumure azotée plus importante influence positivement ce critère (Levy *et al.*, 2007).

15.1.2 Influence de la fumure azotée sur la qualité des blés biscuitiers

Les exigences de la filière biscuitière pour la qualité de la farine sont très différentes et souvent opposées à ce que recherche la filière de panification. La filière biscuitière cherche un blé à basse teneur en protéines avec une faible qualité de protéines, un faible pouvoir d'hydratation, une forte extensibilité et faible élasticité de la pâte. Ces paramètres sont influencés non seulement par la génétique de la variété, mais également par la fumure azotée (**tabl. 47**).

15.1.3 Influence de la fumure azotée sur la qualité des céréales fourragères

Diverses espèces céréalières sont utilisées dans l'affouragement, notamment l'orge et le triticale. Plus récemment, le blé de qualité boulangère déclassé a été remplacé par des variétés de blé fourrager à haut rendement, mais à basse teneur en protéines. Actuellement, l'appréciation de la qualité des céréales fourragères se fait essentiellement par le poids à l'hectolitre, un critère facilement mesurable, mais peu fiable. D'autres critères, plus spécifiques à chaque utilisation (la teneur en protéines, en lysine, en acides gras, etc.), jouent un rôle important dans l'appréciation de la qualité. Une fumure azotée accrue influence non seulement le rendement, mais également la production en protéines (**tabl. 47**).

Tableau 47. Effet de la fertilisation azotée sur les caractéristiques du blé et rôle de ces critères pour déterminer la qualité de différents blés.

Critère	Effet de la fertilisation azotée	Appréciation selon la destination		
		Blé panifiable	Blé biscuitier	Blé fourrager
Poids à l'hectolitre	o/+	o/+	o/+	o/+
Poids de mille grains	o	o	o	o
Teneur en protéines	+	+	-	+
Zeleny ¹	+	+	-	o
Dureté du grain	+	+	-	o
Absorption en eau de la farine	o/+	o/+	o/-	o
Stabilité de la pâte	+	+	-	o
Perte de consistance de la pâte	+	+	-	o
Ténacité de la pâte	+	+	-	o
Ténacité/extensibilité de la pâte	+	+	+	o
Gélatinisation max.	+	o/+	o	o

o = sans influence; + = influence positive; - = influence négative.

1 Le test Zeleny reflète la qualité des protéines et leur aptitude à gonfler dans un milieu lactique acide.

15.2 Cultures oléagineuses

La richesse en huile des cultures oléagineuses et la teneur en glucosinolates de la graine de colza sont deux paramètres de qualité importants qui peuvent être modifiés par la fumure. La richesse en huile est influencée par de nombreux facteurs dont la variété, les conditions environnementales et la fumure azotée. En Suisse, ce paramètre n'est actuellement pas pris en compte pour la rémunération de la production, contrairement à ce qui se pratique en Europe.

15.2.1 Influence de la fumure azotée et soufrée sur la richesse en huile et sa composition

Pour le colza, la relation existant entre la fumure azotée, le rendement, la richesse en huile et le rendement en huile peut être résumée ainsi: avec une fumure azotée croissante, le rendement évolue positivement (jusqu'à un optimum), la teneur en huile décroît linéairement, tandis que la production d'huile augmente légèrement jusqu'à un optimum de fumure plus modeste que pour le rendement en grain. Cette réaction est due à la compétition entre le métabolisme du carbone (huile) et celui de l'azote (protéines). En cas de surfumure azotée, la teneur en huile diminue de 0,3 à 1,2 point d'huile pour 40 unités d'azote en plus de la dose optimale (Champolivier et Reau, 2005). Pour le tournesol, la tendance est sensiblement la même.

La fumure azotée peut également influencer la composition de l'huile. Pellet (2001) a montré qu'en colza classique, une fumure N croissante change le profil des acides gras, en diminuant notamment la teneur en acide oléique.



La fumure soufrée du colza peut avoir un effet bénéfique sur la teneur en huile de la récolte. Pellet *et al.* (2003) ont analysé une série de 15 essais de fumure soufrée à dose croissante (0,40, 80 kg S/ha). Dans la moitié des cas étudiés, avec un risque de carence en soufre modéré, seule une fumure soufrée adéquate (40 kg S/ha) a exercé un effet positif sur la teneur en huile du grain. Dans les cas de risque de carence faible (aucune fumure soufrée recommandée), un apport de soufre n'a eu aucun effet sur la richesse en huile.

15.2.2 Influence de la fumure soufrée sur la concentration en glucosinolates

Les glucosinolates sont des composés soufrés qui pénalisent la qualité du tourteau de colza pour l'affouragement des monogastriques (porcs et volailles). La teneur maximale de la graine est fixée dans notre pays à 20 $\mu\text{mol/g}$. Pour ce paramètre également, de grandes différences sont observées entre les variétés, mais c'est la disponibilité en soufre du sol qui influence le plus la concentration en glucosinolates. Dans une série d'essais réalisés sur des sols à risque faible et moyen de carence en soufre, on a constaté une forte augmentation des teneurs en glucosinolates en fonction de la fumure soufrée apportée, principalement dans les situations de risque moyen requérant une fumure soufrée (Pellet *et al.*, 2003). Cependant, dans tous ces essais, les teneurs n'ont jamais atteint la valeur limite de 20 $\mu\text{mol/g}$. Il est toutefois important d'éviter une sur-fumure soufrée du colza.

Tableau 48. Synthèse des effets attendus de la fumure azotée et soufrée sur la richesse en huile et la concentration en glucosinolates du colza.

Fumure	% huile	Glucosinolates ($\mu\text{mol/g}$)
Fumure N	-	o
Fumure S (risque de carence moyen/élevé)	+	+
Fumure S (risque de carence faible)	o	o

o = sans influence; + = influence positive; - = influence négative.

15.3 Pomme de terre

La fumure azotée fait partie des facteurs déterminants de la qualité de la pomme de terre: teneur en amidon, consistance de la chair, maturité et faculté de conservation (**tabl. 49**) (Reust *et al.*, 2006). Elle doit être différenciée selon le type de sol, les apports organiques, les conditions climatiques et les objectifs d'utilisation de la pomme de terre. Le fractionnement de la fumure azotée (**tabl. 49**) influence la qualité des tubercules mais il est judicieux de faire la dernière application avant la formation des tubercules. La fumure P et K peut également influencer la qualité des tubercules de la pomme de terre (**tabl. 49**). Un apport localisé en P à la plantation favorise la précocité des pommes de terre.

Tableau 49. Influence de la fumure N, P et K sur la qualité des tubercules de la pomme de terre.

Qualité / Fumure	N	P	K
Proportion de tubercules commercialisables (taille)	+	o	+
Résistance aux chocs + taches plombées	-	+	+
Teneur en amidon	-	+	o/+
Teneur en matière sèche	-	o	o/+
Noircissement interne	-	o	+
Brunissement à la friture (taux de sucres)	-	o	o/+
Noircissement après cuisson	o/-	o/+	o/+
Perte de poids à la conservation	o	o	o

o = sans influence; + = influence positive; - = influence négative.

La pomme de terre n'est pas une plante exigeante en soufre, mais elle réagit mieux aux engrais contenant des sulfates que des chlorures, pour le rendement comme pour la teneur en amidon (Fritsch, 2003).

La pomme de terre est une plante acidophile qui réagit bien aux engrais à effet acidifiant. Dans les sols fortement calcaires, le risque de gale commune est important. Il est possible de corriger quelque peu les effets du sol par des applications d'engrais à effet acidifiant comme le sulfate d'ammonium et/ou le sulfate de potassium.

15.4 Betterave à sucre

La fertilisation influence directement la qualité de la betterave, en l'occurrence la teneur en sucre et son extractibilité (**tabl. 50**). Dans la mesure où ces deux paramètres de qualité sont directement pris en compte par le système de paiement de la betterave, il convient de prêter particulièrement attention à la conduite de la fertilisation.

Tableau 50. Influence de la fumure N, P et K sur la qualité de la betterave à sucre.

Qualité / Fumure	N	P	K
Teneur en sucre	-	o	+
Pertes raffinage	-	o	si excès

o = sans influence; + = influence positive; - = influence négative.

Par exemple pour une betterave à 18% de sucre brut, environ 1,9% de pertes sont prévisibles au raffinage, ce qui correspond à une extractibilité de 89%. Ces pertes sont causées par des agents mélassigènes défavorables à l'extraction, parmi lesquels de l'azote alpha-aminé (dans l'exemple 1,33 mmol/100g), des sels K (4,25 mmol/100g) et Na (0,25 mmol/100g), ainsi que d'autres composés solubles non sucres (composés organiques azotés, composés organiques non azotés, éléments minéraux).

La fumure azotée vise un équilibre entre un rendement élevé en racines et une haute teneur en sucre pour atteindre une production de sucre optimale en fonction du mode de paiement. Cet équilibre est particulièrement fragile dans la mesure où la fumure azotée favorise fortement la production de racines, mais provoque conjointement une baisse de la teneur en sucre et de son extractibilité. Grâce à son système racinaire très développé et à son long cycle de végétation, la betterave a une forte capacité d'absorption de l'azote nécessaire à sa croissance. Dès lors, la fertilisation exige de considérer avec attention les conditions locales de fertilité du sol et la dynamique de minéralisation de la matière organique du sol. D'importants ajustements de la fumure azotée peuvent être réalisés pour atteindre une qualité optimale, en particulier lorsque la fertilité du sol est élevée: exploitations avec bétail, terres profondes, lourdes ou riches en matière organique, printemps chaud. Pour une qualité élevée, les apports d'azote doivent être concentrés du début du cycle de croissance jusqu'au stade de 6-8 feuilles au plus tard, pour tenir compte de la disponibilité élevée par la suite, qui peut être nuisible à la qualité. Pour les autres éléments nutritifs, l'interaction entre rendement et qualité n'est pas aussi manifeste que pour l'azote. La teneur en sucre est généralement favorisée par la fumure potassique et une disponibilité en sodium suffisantes. En excès, ces deux éléments peuvent toutefois enrichir le jus et réduire son extractibilité. Il convient d'éviter des apports excessifs dans les sols riches en potassium.

La planification de la fumure sur une exploitation agricole doit prendre en compte les spécificités propres à l'exploitation. Un conseil de fumure doit intégrer les multiples contraintes particulières liées aux types de production (herbager avec engrais de ferme, mixte, cultures), aux caractéristiques des sols, à l'environnement physique (localisation des parcelles, pentes,...), au climat, etc. Les exigences propres au mode de production choisi (intégré, biologique,...) ajoutent encore des difficultés à la tâche. Dans chaque cas, le plan fait intervenir la norme de fumure, l'objectif de rendement, l'analyse de terre et son interprétation, les quantités, valeurs et caractéristiques propres des engrais organiques et minéraux.

16.1

16.1 Plan de fumure

Etablir le plan de fumure annuel de manière consciencieuse constitue le seul moyen de répondre aux multiples exigences d'une fertilisation rationnelle et ciblée, qui tienne compte des besoins des cultures tout en ménageant l'environnement. Les formulaires et les programmes informatisés nécessaires à l'élaboration du plan de fumure peuvent être obtenus auprès des services de vulgarisation agricole et de la plupart des laboratoires d'analyse de sols.

Lors de l'établissement du plan de fumure, la marche à suivre conseillée est la suivante:

1. Etablir les besoins des cultures en fonction du rendement (**tabl.1, 3 et 17**).
2. Ajuster la fumure P, K et Mg selon les résultats des analyses de sol (**tabl.11 à 16**). Pour les grandes cultures, corriger préalablement en fonction de la capacité d'absorption de la culture (**tabl.2**). Soustraire la contribution des résidus de récolte du précédent cultural (**tabl.19**). Dans le cas des pâtures d'une prairie mi-intensive ou intensive (fauche-pâture), soustraire la restitution (**tabl. 5**). La norme corrigée est ainsi obtenue.
3. Ajuster la norme N (pour les grandes cultures) soit à partir d'une analyse de sol $N_{\min}$ (**tabl. 24 et 25**), soit en appliquant les facteurs de correction selon la méthode de la norme corrigée (**tabl. 18 à 22**). La norme corrigée est ainsi obtenue.
4. Calculer la valeur fertilisante des engrais de ferme (chapitre 11) et l'apport à chaque culture concernée.
5. Calculer la différence entre les besoins de la culture (norme corrigée) et l'apport des engrais de ferme.
6. Compléter le solde par l'acquisition d'engrais de ferme provenant d'autres exploitations, d'engrais de recyclage ou d'engrais du commerce en tenant compte des aspects écologiques, pédologiques, agronomiques, techniques, économiques et juridiques (chapitre 19.4).



Lorsqu'on veut réaliser un plan de fumure informatisé, il est important de s'informer auparavant sur son contenu (données de base) et sur le programme de calcul utilisé (voir ci-dessous un exemple d'un plan de fumure).

Identification parcelle

Culture		Surface	Rendement
Précédente	Blé d'automne	1.5 ha	60 dt/ha
Intermédiaire	Engrais vert (non lég.)	1.5 ha	0
Principale	Pdt consommation	1.5 ha	450 dt/ha

Analyse de sol (2002, AAE10 pour P, K, Mg)

Analyse	Résultat	Interprétation	Fact. corr.
Argile	24.6 %	Limoneux-argileux	-
pH	6.5	Faiblement acide	-
M.O.	1.8 %	Satisfaisant	-
P	49.4	Satisfaisant	1.0
K	231.2	Riche	0.8
Mg	97.1	Médiocre	1.2

Plan de fumure

	kg /ha	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
Normes corrigées					
Culture intermédiaire		30	0	0	0
Culture principale		120	85	450	20
Corrections					
Correction rendement culture intermédiaire		0	0	0	0
Correction rendement culture principale		0	0	0	0
Analyses de sol		0	0	-82	4
Précédent cultural		0	-13	-75	-5
Potentiel de minéralisation de la matière organique	0	-	-	-	-
Arrière-effet des apports d'engrais organiques	0	-	-	-	-
Arrière-effet des engrais verts	-20	-	-	-	-
Pluies d'hiver et de printemps	-10	-	-	-	-
Sarclage après la levée de la culture	0	-	-	-	-
Solde année précédente	0	0	0	0	0
Besoins totaux corrigés		120	72	293	19
Apports					
Apport par les engrais de ferme	0	0	0	0	0
Apport par les engrais du commerce	120	72	290	32	
Solde de l'année en cours	0	0	-3	11	
Solde final (- : surplus en fertilisant)	0	0	+3	-11	

16.2 Possibilités de réduction de la fumure N et d'impasse sur la fumure P, K et Mg

L'optimisation de l'utilisation de l'azote proposée par les méthodes de fumure présentées plus haut peut encore être renforcée par une stratégie dynamique de la fumure à l'échelle de l'exploitation. Une pratique extensive de la fumure est aussi envisageable.

Divers éléments dans ce sens sont présentés ci-dessous:

- La distribution prioritaire de l'azote sur certaines cultures doit se faire de préférence en fonction de critères économiques
- La dose de purin, adaptée au besoin de la culture, doit être suffisamment diluée (au moins 1:2, mieux 1:3) pour limiter les pertes par volatilisation (**tabl. 46**)
- Pour une quantité et un moment d'application corrects, le risque de pertes par volatilisation de NH₃ diminue lorsque la proportion de nitrates de l'engrais augmente
- Eviter d'appliquer une dose fractionnée de plus de 60 kg N/ha
- Tenir compte systématiquement des réserves du sol (analyse N_{min}) en grandes cultures ou appliquer la technique des normes corrigées
- Planifier les apports d'engrais au niveau de l'exploitation pour tenir compte des besoins spécifiques des cultures les plus exigeantes et des cultures valorisant le mieux l'azote
- Réduire, ou même faire l'impasse sur le 3^e apport d'azote pour les céréales, ou décaler le 2^e apport

- Supprimer l'apport d'azote au semis ou à la plantation pour les betteraves, le maïs et les pommes de terre
- Renoncer à l'apport d'azote pour les engrais verts
- En cultures fourragères, utiliser les engrais azotés pour les surfaces les plus productives, les expositions favorables et les parcelles qu'il est possible d'exploiter intensivement
- Economiser l'azote sur les prairies temporaires riches en légumineuses et avant tout sur les prairies temporaires peu intensives
- Renoncer à un apport d'azote par temps sec en été sur les prairies et les pâturages intensifs (pas systématiquement sur la même surface et pas pour deux utilisations successives)
- Appliquer les engrais de ferme en premier lieu sur les prairies de fauche
- Puriner les pâturages une ou deux fois au maximum et couvrir d'éventuels besoins complémentaires avec de l'azote minéral.

Lors de l'établissement du plan de fumure de certaines parcelles, il se peut que la quantité d'engrais P, K et Mg à appliquer soit faible ou qu'elle soit difficile à épandre du point de vue technique. Dans ce cas on peut conseiller une impasse (**tabl. 51**).

Tableau 51. Possibilités d'impasse sur la fumure minérale P, K et Mg en fonction de la richesse du sol, de la profondeur utile et des quantités d'engrais minéral à épandre.

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

1 Sol superficiel: < 70 cm de profondeur utile. Sol profond: > 70 cm de profondeur utile.

Impasse: renoncement à tout apport d'engrais minéral parce que les besoins de la culture envisagée sont largement couverts par les réserves du sol, les restitutions de la culture précédente ou, le cas échéant, par la fumure organique et la déduction anticipée des résidus de récolte de la culture à venir (par exemple avec du tournesol). L'impasse peut aussi être décidée lorsque les quantités d'engrais minéral à apporter sont très faibles et ne représentent qu'une fraction de la norme.

Seuils de renoncement: 100 kg/ha pour les engrais P et K simples ou composés et 50 kg/ha pour les engrais magnésiens spécifiques.

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

16.3 Choix des engrais

Le choix des engrais est dicté par les exigences du sol et des plantes, en relation avec des impératifs techniques. Les aspects économiques n'interviennent que lorsque les caractéristiques requises sont équivalentes. Les critères les plus importants pour le choix d'un engrais sont les exigences spécifiques des différentes cultures, les caractéristiques du sol (pH, MO, texture, état de la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol, etc.) qui permettent le stockage des éléments nutritifs sous une forme disponible, la vitesse d'efficacité désirée ainsi que la teneur en substances complémentaires utiles (chaux, soufre, oligo-éléments) et non désirées (substances dangereuses). Les **tableaux 56 à 59** donnent les caractéristiques et les effets des différentes formes des éléments fertilisants des engrais.

16.4 Fumure de rotation

La fumure de rotation permet de simplifier la fumure P, K, Mg annuelle d'une parcelle dont la rotation est définie. Elle consiste à totaliser les besoins nets de la rotation et à appliquer annuellement la quantité moyenne obtenue. Cette manière de faire nécessite l'élaboration d'un plan de fumure et ne convient que pour les parcelles dont la rotation est stable. Elle est aisément applicable dans les parcelles dont le niveau de fertilité est satisfaisant ou riche (classe de fertilité C ou D). Elle peut devenir problématique lorsque le sol est pauvre et que la rotation comprend une culture ayant des besoins élevés ou une culture susceptible de faire une consommation de luxe de l'un ou l'autre des éléments.

16.5 Possibilités et limites de différentes méthodes de bilan des éléments fertilisants

Le bilan des éléments fertilisants d'une exploitation informe sur la gestion globale des engrais. Il peut être exprimé de différentes manières:

Le bilan **entrée/sortie** compare les éléments fertilisants apportés sous forme d'agents de production à ceux qui en ressortent sous forme de produits de l'exploitation. Cette méthode ne donne pas d'indication sur l'ampleur et l'intensité des mouvements d'éléments à l'intérieur de l'exploitation. Elle n'est pas directement comparable à un plan de fumure.

Le bilan **production/besoins** consiste à comparer la production totale d'engrais propres à l'exploitation et d'engrais acquis hors de l'exploitation avec les besoins en fertilisants des plantes, compte tenu de la richesse du sol. Ce bilan correspond au plan de fumure appliqué sur l'ensemble de l'exploitation.

Pour les **prestations écologiques requises** (PER), dans le cadre de l'Ordonnance sur les paiements directs (chapitre 18.4), les centrales de vulgarisation (AGRIDEA) disposent d'un formulaire «Suisse-Bilanz», qui ne prend cependant pas en compte les teneurs en éléments fertilisants du sol (N, P, K et Mg).

En résumé, le bilan des éléments fertilisants sur l'exploitation ne fournit pas d'informations sur la fertilisation individuelle de chaque parcelle et le bilan selon les PER ne permet ni de tenir compte ni d'améliorer la disponibilité des fertilisants dans les sols. Aucun bilan n'est donc en mesure d'apporter l'aide à la décision requise pour une fertilisation précise des sols et des cultures et ne peut remplacer le présent document.

17

Technique d'épandage des engrais minéraux, des engrais de ferme et à base de déchets recyclés



De nombreuses techniques sont possibles pour l'épandage des engrais de ferme et des engrais minéraux. Elles ont connu un développement important en matière de précision du dosage et de répartition, afin que chaque plante ait son dû. En outre, le sol peut être suffisamment ménagé si les engins lourds sont équipés de pneumatiques adéquats. Dans les cas où des pneus larges ne peuvent pas être utilisés – par exemple dans une culture de maïs –, le choix du type d'engrais (engrais minéral au lieu de purin/lisier) peut également contribuer à la protection du sol. Lors de l'épandage du lisier, le système de répartition ainsi que les conditions météorologiques et le taux de dilution ont une importante influence sur les pertes d'azote dues à la volatilisation de l'ammoniac.

Les **tableaux 52 à 55** donnent une vue d'ensemble des principaux systèmes d'épandage et de la répartition pour les engrais minéraux, les engrais de ferme et les engrais à base de déchets recyclés.

Au niveau de **l'application des engrais minéraux**, la tendance est aux distributeurs centrifuges à deux disques avec des largeurs de travail jusqu'à 36 m. Ils permettent une répartition horizontale plus précise que les distributeurs à un seul disque. Afin d'augmenter encore la précision des distributeurs centrifuges, les fabricants de machines préconisent un chevauchement triple plutôt qu'un chevauchement double. Pour un épandage précis jusqu'au bord du champ et pour respecter les zones-tampons de protection des eaux, il est impératif d'utiliser un dispositif de distribution adéquat. Les distributeurs pneumatiques, quant à eux, se rencontrent de moins en moins dans la pratique pour des questions de coût; ces machines épandent sans chevauchement.

Tableau 52. Propriétés et évaluation de différents systèmes d'épandage pour les engrais minéraux.

Engrais minéraux		Convient à l'épandage de			Evaluation concernant ¹				
	Dispositif d'épandage	Granulés	Pulvérisés	Liquides	Précision dosage/répartition	Pertes d'ammoniac	Tassement du sol	Aptitude au travail en pente	Frais de machines
Distributeur centrifuge	1 ou 2 disques	x	x		2	1 ²	1	1	1
	Tube oscillant	x	x		2	1 ²	1	1	1
Distributeur à rampe	Pneumatique	x			1	1 ²	1	2	3
Pulvérisateur	Buses à trois filets			x	1	1	1	2	2

Tableau 53. Aptitude et évaluation de différents systèmes d'épandage pour le lisier.

Lisier		Evaluation concernant ¹				
	Dispositif d'épandage	Précision dosage/répartition	Pertes d'ammoniac	Tassement du sol	Aptitude au travail en pente	Frais de machines
Citerne	Assiette de déflexion	3-4	3 ³	3	3	1
	Buse pendulaire	2	3 ³	3	3	1
	Rampe à pendillards	1	2	3	4	3
	Enfouisseur	1	1	4	4	4
Purinage par tuyau	Assiette déflectrice	3-4	3 ³	1	1	2
	Répartiteur à buse pivotante	2	3 ³	1	1	2
	Rampe à pendillards	1	2	1	3	3
Enrouleur d'arrosage	Canon d'arrosage	4	4 ³	1	3	3
	Rampe multi-buses	2	3 ³	1	3	4
	Rampe à pendillards	1	2	1	3	4

Fumier / Déchets recyclés				Evaluation concernant ¹				
	Dispositif d'épandage	Convient à l'épandage de		Précision dosage/répartition	Pertes d'ammoniac	Tassement du sol	Aptitude au travail en pente	Frais de machines
Fumier		Fumier						
Epandeur à fumier	Hérissons horizontaux	x		4	3	4	3	2
	Hérissons verticaux	x		3	3	3	3	2
	Epandeur à projection latérale	x		3	3	2	2	3
	Epandeur à assiettes	x		2	3	2	3	3
Engrais à base de déchets recyclés		Compost/matériel haché	Chaux d'Aarberg					
Epandeur à fumier	Hérissons verticaux	(x)		3	⁵	³ ⁴	3	2
	Epandeur à projection latérale	x	x	3	⁵	² ⁴	2	3
Epandeur à compost	Dispositif à 2 ou 4 assiettes	x		2	⁵	² ⁴	3	3
Epandeur à grande capacité	Dispositif à 2 disques	x	x	1	⁵	² ⁴	3	4

Notes des tableaux 52 à 54

- 1 1 = très favorable; 2 = favorable; 3 = peu favorable, lacunaire; 4 = très défavorable, insuffisant.
- 2 Engrais azotés: pour les engrais ammoniacaux, le risque de pertes est légèrement plus élevé qu'avec les autres engrais azotés.
- 3 Les pertes d'azote dépendent fortement des conditions météorologiques pendant et immédiatement après l'épandage.
- 4 Dépend de la dimension des pneus et de la taille de l'épandeur.
- 5 Le type d'engrais (structure et composition) est plus important que la technique d'épandage.

Les propriétés physiques de l'engrais et l'humidité de l'air peuvent influencer significativement le débit de l'épandeur. C'est pourquoi il est impératif de bien régler le distributeur d'engrais sur la base de la table des débits et d'effectuer un contrôle périodique de ce débit.

L'application d'engrais minéraux sous forme liquide au pulvérisateur ne se fait que rarement en grandes cultures. Deux engrais liquides sont utilisés: un engrais azoté et un engrais contenant azote et phosphore.

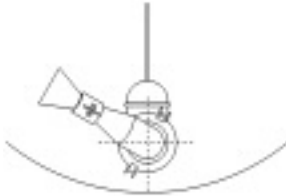
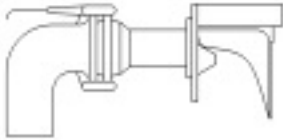
Pour l'**épandage du lisier**, l'agriculteur a le choix parmi un grand nombre de systèmes permettant de répartir le lisier avec précision et de réduire les pertes lors de l'épandage. Les rampes d'épandage à pendillards se distinguent des distributeurs à jet projeté par leur bonne précision et de faibles pertes d'ammoniac. Les couteaux présents dans les têtes de distribution permettent d'éviter les bouchons et font partie de l'équipement standard.

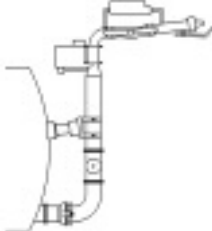
Lors de l'épandage, il est conseillé de tenir compte des conditions météorologiques. Un épandage par temps frais et humide diminue les pertes d'ammoniac. Celles-ci sont également restreintes en diluant l'engrais avec de l'eau dans une proportion de 1:1. Lors d'épandage avec des citernes à purin, il faut être attentif au compactage du sol. Les machines à un essieu avec pneus larges ménagent le sol et le gazon. Les machines à essieux tandem sont plus stables durant les trajets sur la route. Les dispositifs à tuyau souple traîné ménagent bien le sol et peuvent être combinés avec une rampe à pendillards; leur utilisation est par contre moins souple que les citernes.

Pour l'**épandage de fumier**, la difficulté est notamment d'épandre la quantité voulue le plus régulièrement possible sur toute la parcelle. Dans les prairies et les pâturages, il est particulièrement important de ne pas dépasser 15 t par ha, finement émiété pour ne pas entraver la décomposition du fumier. Les épandeurs à fumier avec hérissons verticaux assurent une bonne répartition horizontale. Un entraînement hydraulique du fond mouvant permet un réglage continu de son avancement. Dans les régions de montagne, les épandeurs à projection latérale restent toujours très courants.

Pour l'épandage des engrais solides à base de déchets recyclés, on utilise plus fréquemment des épandeurs spéciaux à compost ou des épandeurs polyvalents à grande capacité, qui se distinguent par une construction solide (benne, châssis, essieu), une capacité élevée et des dispositifs d'épandage à assiettes.

Tableau 55. Vue d'ensemble des caractéristiques des principaux systèmes d'épandage du purin.

	Assiette défectrice	Répartiteur latéral	Répartiteur vertical	
				
Type de construction	Simple	Simple	Simple	
Investissement en CHF	160-1000.–	200-360.–	500-1200.–	
Largeur de travail effective	5-13 m; selon marque/type	Jusqu'à 14 m (sans chevauchement)	9-13 m; selon type de construction	
Précision de répartition / coefficient de variation (CV)	15-18-35%	35-42%	19-24%	
Précision de répartition	Plutôt satisfaisante à médiocre	Insatisfaisante	Satisfaisante	
Sensibilité au vent	Elevée	Elevée	Moyenne	
Largeur de chevauchement requis	0,5-2 m	–	0,5-1 m	
Tolérance aux différences de chevauchement	Faible	–	Très faible	
Réglages de la largeur de travail	Généralement limités	Possibles	Pas possibles	
Apport exact d'engrais en début et en fin de champ	Pas possible	Très possible	Très possible	
Autres critères	Difficile d'installer un répartiteur précis	Chevauchement problématique Epandage possible depuis le chemin sur le champ		
Recommandé pour	Production fourragère	Production fourragère, région de montagne (limité)	Production fourragère	

	Répartiteur par le haut	Répartiteur oscillant	Buse orientable	Rampe d'épandage à pendillards
				
	Moyen	Moyennement compliqué	Moyennement compliqué	Compliqué
	1600-2000.-	1500-3300.-	4700-5057.-	20 000-23 000.-
	9-10 m	11-16 m; selon le réglage	Jusqu'à 20 m; selon la pression et le réglage	9-12 m
	16%	8-10%	8-9%	3-8%
	Satisfaisante	Bonne à très bonne	Très bonne	Très bonne
	Moyenne	Moyenne	Faible	Faible à nulle
	4 m	1,5-2 m	3 m	0
	Faible	Bonne	Très bonne	Faible
	Possibles (tube télescopique)	Possibles de façon limitée	Sans problème	Fixes
	Très possible	Pas possible	Pas possible	Très possible
	A une largeur de travail de 12 m, répartition approximative		Possibilité d'épandre d'un côté seulement Pas adapté pour une citerne à pression	Bonne réduction des émissions d'ammoniac
	Production fourragère, grandes cultures	Production fourragère, grandes cultures	Production fourragère, région de montagne	Production fourragère, grandes cultures

- ALP, 2004. Apports alimentaires recommandés et tables de la valeur nutritive des aliments pour les ruminants (Livre vert). Editeur: Station de recherche Agroscope Liebefeld-Posieux ALP, Posieux.
- Champoliver L. & Reau R., 2005. Améliorer la richesse en huile des oléagineux pour répondre aux besoins du marché. *Oléoscope* **82**, 10-13.
- Fabre B. & Kockmann F., 2006. Les effets du chaulage sur les prairies permanentes ou de longue durée. Synthèse bibliographique. *Fourrages* **185**, 103-122.
- Fritsch F., 2003. Anwendung von Düngemitteln in landwirtschaftlichen Kulturen: Kartoffeln. In: H. Knittel und E. Albert (Hrsg.), *Praxishandbuch Dünger und Düngung*. AGRIMEDIA GmbH, Bergen/Dumme.
- Frossard E., Julien P., Neyroud J.-A. & Sinaj S., 2004. Le phosphore dans le sol. Etat de la situation en Suisse. Cahier de l'environnement n° 368, Office fédéral de l'environnement, des forêts et des paysages, Berne, 180 p.
- Levy L., Schwaerzel R. & Kleijer G., 2007. Influence de la fumure azotée sur la qualité des céréales panifiables. *Revue suisse Agric.* **39**, 255-260.
- Limaux F., Recous S., Meynard J. M. & Guckert A., 1999. Relationship between rate of crop growth at date fertiliser N application and fate of fertiliser N applied to winter wheat. *Plant Soil* **214**, 49-59.
- Pellet D., 2000a. Dosage du nitrate dans les tiges pour affiner le pilotage de la fumure azotée du blé d'automne. I. La méthode Jubil est-elle adaptée aux variétés cultivées en Suisse? *Revue suisse Agric.* **32** (3), 103-108.
- Pellet D., 2000b. Dosage du nitrate dans les tiges pour affiner le pilotage de la fumure azotée du blé d'automne. II. La méthode Jubil R comme complément à celle des normes corrigées. *Revue suisse Agric.* **32** (4), 165-171.
- Pellet D., 2001. Oilseed rape varietal response to nitrogen fertilization. Poster paper presented at the GCIRC technical meeting held in Poznan.
- Pellet D. & Grosjean Y., 2007. Fumure azotée du tournesol: intérêt de la méthode Héliotest pour la Suisse. *Revue suisse Agric.* **39** (1), 5-9.
- Pellet D., Mercier E., Balestra U., Lavanchy J. C., Pfeifer H. R., Keiser A. & Bezençon N., 2003a. Optimisation de la fumure soufrée par estimation du risque de carence. I. Colza d'automne. *Revue suisse Agric.* **35**, 161-167.
- Pellet D., Mercier E. & Balestra U., 2003b. Optimisation de la fumure soufrée par estimation du risque de carence. II. Blé d'automne. *Revue suisse Agric.* **35** (4), 181-186.
- Reust W., Hebeisen T. & Ballmer T., 2006. Fumure azotée et nouvelles variétés de pommes de terre cultivées en Suisse. *Revue suisse Agric.* **38** (6), 309-313.
- Ryser J.-P., Walther U. & Flisch R., 2001. Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages. *Revue suisse Agric.* **33** (3) 1-80.
- Sluijsmans C. M. J., 1970. Der Einfluss von Düngemitteln auf den Kalkzustand des Bodens. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* **126**, 97-103.
- Stünzi H., 2006. Zur Phosphor-Bodenextraktion mit Ammoniumacetat-EDTA (AAE10). *Agrarforschung* **13** (11-12), 488-493.
- Thomet P., Stettler M., Hadorn M. & Mosimann E., 2007. N-Düngung zur Lenkung des Futterangebotes von Weiden. *Agrarforschung* **14** (10), 472-477.
- VSGP/UMS, 2008. Handbuch Gemüse/Manuel des légumes. Verein Schweiz. Gemüseproduzenten/Union maraîchère suisse (VSGP/UMS), Bern.
- Yara, 2008. N-Tester®, Le pilotage de l'azote tout simplement. Brochure disponible sur www.yara.fr, 12 p.

Littérature pour consultation

- Anonyme, 1964. Richtlinien für die Düngeberatung. Versuchsanstalten Liebefeld, Lausanne und Zürich.
- Anonyme, 1966. Les nouvelles normes de fumure minérale. *Agriculture romande* **5**, 4 p.
- Anonyme, 1972. Dünungsrichtlinien für den Acker- und Futterbau. *Mitt. für die schweiz. Landwirtschaft* **20**, 33-49.
- Anonyme, 1974. Nouvelles directives de fumure. *Revue suisse Agric.* **6**, 189-195.
- Anonyme, 1987. Directives de fumure pour les grandes cultures et les herbages en Suisse romande. *Revue suisse Agric.* **19**, 297-314.
- Anonyme, 1987. Dünungsrichtlinien für den Acker- und Futterbau. Herausgeber: FAC, RAC und FAC 36.
- Celardin F., 1991. Méthode d'estimation du pouvoir fixateur du sol: application au phosphore dans les sols genevois/Method of estimation of the fixing ability of soil: application of phosphorus in the soils of Geneva. *Archives des Sciences Geneva* **44**, 245-251.
- Celardin F., 1993. Fertilisation du sol: méthode de calcul du coefficient à la norme de fumure à partir des résultats de deux extraits de sol/Soil fertilization: method for calculating coefficients of fertilizer standards from the results of two soil extracts. *Archives des Sciences Geneva* **46**, 137-140.

- Celardin F., 1996. Fertilizer requirement calculation moderated by apparent retention as deduced from two soil extracts. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **27**, 1047-1054.
- Celardin F., 2003. Evaluation of soil P-test values of canton Geneva/Switzerland in relation to P loss risks. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **166**, 416-421.
- Charles R. & Vullioud P., 2001. Pois protéagineux et azote dans la rotation. *Revue suisse Agric.* **33**, 265-270.
- Chauvin B., Morier R., Dessureault Rompre J. & Neyroud J. A., 2007. Réseau-azote romand: évaluation de la fumure azotée et du risque de perte d'azote nitrique en grandes cultures. *Revue suisse Agric.* **39**, 145-152.
- Collaud J.-F., 1995. Influence de la fumure azotée sur le poids à l'hectolitre de l'avoine de printemps. *Revue suisse Agric.* **27**, 117-119.
- Demaria P., Flisch R., Frossard E. & Sinaj S., 2005. Exchangeability of phosphate extracted by four chemical methods. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **168**, 89-93.
- Maillard A., 1988. Les engrais verts en grandes cultures. *Revue suisse Agric.* **20**, 161-163.
- Maillard A., Ryser J. P. & Vez A., 1989. Bilan d'un essai de fumure phosphopotassique dans un sol argileux (1970 à 1985). *Revue suisse Agric.* **21**, 93-98.
- Maillard A., 1994. Techniques culturales et productivité de l'épeautre en Suisse romande. *Revue suisse Agric.* **26**, 77-80.
- Münster J., 1970. La culture de la pomme de terre de primeur. *Revue Horticole Suisse* **43**, 65-69.
- Neyroud J.-A. & Zuodar L., 1981. Enquête sur la fertilité. II. Etude critique des relations entre les fumures pratiquées et l'évolution correspondante des indices de fertilité du sol. *Revue suisse Agric.* **13**, 221-228.
- Neyroud J.-A. & Vez A., 1981. La fumure azotée du blé. Essai de prévision des doses. *Revue suisse Agric.* **13**, 7-13.
- Neyroud J.-A., Ryser J.-P., Chauvin B. & Schwab P., 1987. La fumure azotée du blé. Résultats de 7 années de conseil des doses à appliquer selon la méthode N_{min} des bilans. *Revue suisse Agric.* **19**, 149-153.
- Neyroud J.-A. & Chauvin B., 2000. Mesure de N_{min} pour la gestion de la fumure azotée et l'appréciation du risque de perte par lixiviation au niveau parcellaire. *Revue suisse Agric.* **32**, 153-158.
- Neyroud J.-A. & Lischer P., 2003. Do different methods used to estimate soil phosphorus availability across Europe give comparable results? *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **166**, 422-431.
- Pellet D. & Vullioud P., 2004. Lin d'hiver ou de printemps: une culture à découvrir. *Revue suisse Agric.* **36**, 110-116.
- Pittet J.-P. & Ryser J.-P., 1999. Incidence des conditions hivernales et d'une fumure azotée sur les teneurs en éléments fertilisants dans le feuillage des engrais verts. *Revue suisse Agric.* **31**, 235-238.
- Rod P. & Ryser J.-P., 1969. Normes de fumure et état de fertilité des sols. *Revue suisse Agric.* **1**, 56-60.
- Ryser J.-P., 1982. Etude du potassium assimilable pour les cultures sur quelques sols du canton de Vaud. Ecole polytechnique fédérale de Zurich.
- Ryser J.-P., 1989. La fertilisation du tabac, étude des besoins et des prélèvements de la culture du tabac Burley suisse. *Revue suisse Agric.* **21**, 207-208.
- Ryser J.-P. & Pittet J.-P., 1993. Rétention de l'azote du sol par un engrais vert. *Revue suisse Agric.* **25**, 297-301.
- Ryser J.-P., Walter V. & Menzi H., 1994. Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages. *Revue suisse Agric.* **26**, 193-242.
- Ryser J.-P., Gysi C. & Heller W., 1995. Analyse de terre et interprétation en cultures spéciales. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **27**, 319-323.
- Ryser J.-P., 1998. Analyses de sol dans les grandes cultures et les herbages. Barème provisoire d'interprétation des résultats obtenus par extraction à l'acétate d'ammonium + EDTA 1/10. *Revue suisse Agric.* **30**, 143-146.
- Ryser J.-P. & Vullioud P., 2003. Bilan d'un essai de fumure phosphopotassique de trente ans dans un sol argileux (Changins 1971 à 2000). *Revue suisse Agric.* **35**, 77-81.
- Stunzi H., 2006. The methods of soil extraction with water and CO₂ saturated water. *Agrarforschung* **13**, 284-289.
- Vez A., 1975. La fumure azotée du blé d'automne sur la base d'expériences récentes. *Revue suisse Agric.* **7**, 177-183.
- Vullioud P., 1995. La culture du tournesol en Suisse romande. *Revue suisse Agric.* **27**, 29-36.
- Vullioud P., 1996. Grandes cultures et herbages, p. 45-62. Rapport d'activité 1994-1995 de la Station fédérale de recherches en production végétale de Changins/Nyon.
- Vullioud P., 1998. Grandes cultures et herbages. Rapport d'activité 1996-1997 de la Station fédérale de recherches en production végétale de Changins/Nyon, 45-62.
- Walther U., 1996. Fumure N en grandes cultures: indépendante du niveau de rendement. *Revue UEA* **3**, 18-20.
- Walther U., Weisskopf P. & Jaggli F., 1998. Schätzung der optimalen N-Düngung zu Wintergetreide?; Assessment of optimum N fertilization of winter cereals. *Agrarforschung* **5**, 185-188.

19.1 Caractéristiques des différentes formes des éléments fertilisants et des engrais

Tableau 56. Caractéristiques de la forme des éléments fertilisants.

Élément	Forme	Caractéristiques	Recommandations
Azote	Nitrate	Effet rapide Risque de lessivage élevé	Adapter la dose et le moment d'application aux possibilités de prélèvement par la plante
	Ammoniaque	Effet lent et soutenu Risque de perte par volatilisation	Par temps sec prolongé, enfouir légèrement
	Nitrate d'ammoniaque	Effet en partie rapide et en partie différé	Par temps sec prolongé, enfouir légèrement
	Urée	Action plus lente et effet soutenu Risque de volatilisation	En sol neutre et calcaire, enfouir superficiellement En production fourragère, éviter les apports lorsqu'il fait beau et chaud
	Organique	Effet lent à très lent, voire incertain Minéralisation par les micro-organismes non contrôlable Risque de minéralisation à contre-saison entraînant un danger de lessivage	Eviter les doses importantes et uniques Apporter régulièrement des doses modérées Eviter la jachère durant la période de végétation (une minéralisation non contrôlée augmente les risques de pertes par lessivage)
Phosphore	Soluble dans l'eau (ex. superphosphate)	Effet rapide dans tous les sols Acidifie légèrement le sol	Utilisation régulière dans les sols neutres et alcalins Utilisation occasionnelle dans les sols acides
	Soluble dans le nitrate d'ammoniaque (ex. phosphate bicalcique)	Effet étalé dans la durée	Utilisation jusqu'à pH 6,6 en sol pauvre en P et pH 7,5 en sol normalement pourvu en P
	Phosphate naturel (ex. hypophosphate)	Effet très lent	Utilisation dans les sols acides (pH < 5,8) et légèrement acides (pH 5,9-6,7)
Potassium	Chlorure de potassium (ex. sels de potassium)	Soluble dans l'eau Effet rapide Risque de lessivage dans les sols sableux Contient 40-50% de chlore	Ne pas dépasser 300 kg K ₂ O/ha par apport Dans les sols très sableux, épandre au printemps Réduire la dose dans les cultures sensibles au chlore A utiliser dans les cultures sensibles au chlore
	Sulfate de potassium (ex. sulfate de potassium)	Soluble dans l'eau, effet rapide Acidifie légèrement le sol Contient 15-20% de soufre	A utiliser dans les cultures nécessitant des apports de soufre A utiliser dans les cultures préférant un milieu acide
	Nitrate de potassium	Soluble dans l'eau Effet rapide	Approprié aux pulvérisations foliaires Engrais particulièrement indiqué pour des cas spéciaux (légumes, tabac)
Magnésium	Sulfate de magnésium (ex. kiesérite, sulfate de magnésium hydraté)	Soluble dans l'eau Risque de lessivage dans les sols légers	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	Faible solubilité, effet lent et soutenu. Faible risque de lessivage	A utiliser pour prévenir les carences dans les sols acides. Fertilisation d'entretien dans les sols neutres, faiblement acides et acides
	Oxyde de magnésium	Effet lent et soutenu	A utiliser pour la fumure d'entretien dans tous les sols

Tableau 56 (suite). Caractéristiques de la forme des éléments fertilisants.

Élément	Forme	Caractéristiques	Recommandations
Soufre	Sulfate	Soluble dans l'eau, effet rapide Fort risque de lessivage	Adapter la dose et le moment d'application aux besoins à court terme de la plante (à utiliser comme les engrais azotés)
	Organique	Effet lent et incertain Minéralisation par les micro-organismes non contrôlable Risque de minéralisation à contre-saison entraînant un danger de lessivage	Renoncer aux fortes doses uniques Préférer des petites doses répétées

Tableau 57. Caractéristiques de quelques engrais calciques.

Nom commercial	Proportion de chaux		Teneur des principaux composants annexes	Effet neutralisant
	Formule chimique	Base de calcul pour l'effet chaudant en % CaO		
Chaux Calcaire moulu Carbonate de calcium	CaCO ₃	50		lent
Chaux d'algue marine	CaCO ₃ /MgCO ₃	50	2-3% Mg	lent
Dolomie	CaCO ₃ /MgCO ₃	50	12% Mg	lent
Chaux éteinte	Ca(OH) ₂	55		rapide
Chaux vive	CaO	75		rapide
Chaux d'Aarberg	CaCO ₃	32	30% H ₂ O 1,1% P ₂ O ₅ 0,7% Mg 0,3% N	moyen

Tableau 58. Engrais minéraux contenant du soufre.

Engrais	Teneur en soufre (% S)
Sulfate d'ammoniaque	24
Sulfate de magnésium (kiesérite)	20
Potasse magnésienne (Patentkali)	18
Sulfate de potassium	18
Superphosphate	12
Supertriple	1,5
Engrais complets	Selon indications sur l'emballage
Sulfate de magnésium (sel d'Epsom), fumure foliaire 10-20 kg dans 1000 l d'eau	13

Tableau 59. Influence de l'apport des engrais sur le pH du sol.

Effet acidifiant	Effet neutre ou alcalinisant
Sulfate	Phosphates naturels
Engrais ammoniacaux	Cyanamide calcique
Urée	Hyperphosphates
Superphosphate, supertriple	Purin de porc
Purin bovin	Engrais calciques (voir tabl. 57)

Tableau 60a. Teneurs en éléments nutritifs des produits végétaux.

Lorsque les cultures d'automne et de printemps ne sont pas différenciées, les mêmes valeurs sont valables pour les deux cas.

Espèces de grande culture	Rendement du produit récolté (dt/ha)	Produit	MS (%)	Teneurs en éléments minéraux (kg/t de matière fraîche)											
				N			P ₂ O ₅ (P)			K ₂ O (K)			Mg		
				inf	sup	val.	inf	sup	val.	inf	sup	val.	inf	sup	val.
Blé automne (biscuitier et panifiable)	60	grain	85	15,0	25,0	20,2	7,0 (3,1)	10,0 (4,4)	8,2 (3,6)	3,0 (2,5)	6,0 (5)	4,3 (3,6)	0,8	1,2	1,2
	70	paille	85	3,0	7,0	3,1	1,0 (0,4)	3,0 (1,3)	1,9 (0,8)	7,0 (5,8)	15,0 (12,5)	10,7 (8,9)	0,6	1,0	0,7
Blé fourrager d'automne	75	grain	85	15,0	25,0	17,3	7,0 (3,1)	10,0 (4,4)	8,2 (3,6)	3,0 (2,5)	6,0 (5)	4,3 (3,6)	0,8	1,2	1,2
	75	paille	85	2,0	7,0	2,8	1,0 (0,4)	3,0 (1,3)	1,9 (0,8)	7,0 (5,8)	15,0 (12,5)	10,7 (8,9)	0,6	1,0	0,7
Blé de printemps	50	grain	85	18,0	26,0	20,2	7,0 (3,1)	10,0 (4,4)	8,2 (3,6)	3,0 (2,5)	5,0 (4,2)	4,3 (3,6)	1,0	1,4	1,2
	60	paille	85	3,0	7,0	3,1	1,0 (0,4)	3,0 (1,3)	1,9 (0,8)	8,0 (6,6)	14,0 (11,6)	10,7 (8,9)	0,3	0,7	0,7
Orge d'automne	60	grain	85	13,0	17,0	14,8	8,0 (3,5)	10,0 (4,4)	8,4 (3,7)	4,0 (3,3)	8,0 (6,6)	5,4 (4,5)	0,8	1,2	1,1
	60	paille	85	3,0	6,0	4,3	1,0 (0,4)	3,0 (1,3)	2,2 (1)	12,0 (10)	24,0 (19,9)	16,0 (13,3)	0,2	0,6	0,6
Orge de printemps	55	grain	85	10,0	16,0	14,8	7,0 (3,1)	9,0 (3,9)	8,4 (3,7)	5,0 (4,2)	7,0 (5,8)	5,4 (4,5)	0,9	1,3	1,1
	55	paille	85	3,0	7,0	4,3	1,0 (0,4)	3,0 (1,3)	2,2 (1)	16,0 (13,3)	24,0 (19,9)	16,0 (13,3)	0,2	0,6	0,6
Avoine d'automne	55	grain	85	13,0	19,0	16,0	7,0 (3,1)	9,0 (3,9)	8,0 (3,5)	4,0 (3,3)	6,0 (5)	5,0 (4,2)	0,9	1,3	1,0
	70	paille	85	3,0	7,0	5,0	2,0 (0,9)	4,0 (1,7)	2,7 (1,2)	18,0 (14,9)	24,0 (19,9)	21,0 (17,4)	0,6	1,2	0,9
Avoine de printemps	55	grain	85	13,0	19,0	16,5	7,0 (3,1)	9,0 (3,9)	8,0 (3,5)	4,0 (3,3)	6,0 (5)	5,0 (4,2)	0,9	1,3	1,0
	70	paille	85	3,0	7,0	4,1	2,0 (0,9)	4,0 (1,7)	2,7 (1,2)	18,0 (14,9)	24,0 (19,9)	21,0 (17,4)	0,6	1,2	0,9
Seigle d'automne	55	grain	85	13,0	18,0	13,0	7,0 (3,1)	9,0 (3,9)	8,0 (3,5)	4,0 (3,3)	6,0 (5)	5,0 (4,2)	0,9	1,3	1,1
	70	paille	85	3,0	7,0	3,0	2,0 (0,9)	3,0 (1,3)	2,0 (0,9)	10,0 (8,3)	14,0 (11,6)	12,0 (10)	0,8	1,2	1,0
Seigle d'automne hybride	65	grain	85	13,0	18,0	13,0	7,0 (3,1)	9,0 (3,9)	8,0 (3,5)	4,0 (3,3)	6,0 (5)	5,0 (4,2)	0,9	1,3	1,1
	75	paille	85	3,0	7,0	3,0	2,0 (0,9)	3,0 (1,3)	2,0 (0,9)	10,0 (8,3)	14,0 (11,6)	12,0 (10)	0,8	1,2	1,0
Epeautre	45	grain	85	14,0	18,0	16,0	7,0 (3,1)	9,0 (3,9)	8,0 (3,5)	4,0 (3,3)	6,0 (5)	5,0 (4,2)	0,9	1,3	1,1
	70	paille	85	3,0	7,0	5,0	2,0 (0,9)	3,0 (1,3)	2,5 (1,1)	10,0 (8,3)	14,0 (11,6)	12,0 (10)	0,8	1,2	1,0
Triticale d'automne	60	grain	85	15,0	20,0	16,0	7,0 (3,1)	11,0 (4,8)	7,2 (3,1)	4,0 (3,3)	7,0 (5,8)	4,9 (4,1)	0,8	1,2	0,9
	75	paille	85	3,0	10,0	3,3	1,0 (0,4)	4,0 (1,7)	1,4 (0,6)	10,0 (8,3)	18,0 (14,9)	18,0 (14,9)	0,6	0,9	0,6
Triticale de printemps	55	grain	85	15,0	20,0	16,0	7,0 (3,1)	11,0 (4,8)	7,2 (3,1)	4,0 (3,3)	7,0 (5,8)	4,9 (4,1)	0,8	1,2	0,9
	70	paille	85	3,0	10,0	3,3	1,0 (0,4)	4,0 (1,7)	1,4 (0,6)	10,0 (8,3)	18,0 (14,9)	18,0 (14,9)	0,6	0,9	0,6

Tableau 60a (suite). Teneurs en éléments nutritifs des produits végétaux.

Lorsque les cultures d'automne et de printemps ne sont pas différenciées, les mêmes valeurs sont valables pour les deux cas.

Espèces de grande culture	Rendement du produit récolté (dt/ha)	Produit	MS (%)	Teneurs en éléments minéraux (kg/t de matière fraîche)											
				N			P ₂ O ₅ (P)			K ₂ O (K)			Mg		
				inf	sup	val.	inf	sup	val.	inf	sup	val.	inf	sup	val.
Amidonner, engrain	25	grain	85	17,0	27,0	22,0	6,0 (2,6)	10,0 (4,4)	8,0 (3,5)	4,0 (3,3)	6,0 (5)	5,0 (4,2)	0,8	2,0	1,4
	45	paille	85	3,0	5,0	4,0	2,0 (0,9)	4,0 (1,7)	3,0 (1,3)	7,0 (5,8)	11,0 (9,1)	9,0 (7,5)	0,4	0,8	0,6
Maïs-grain	95	grain	85	11,0	15,0	13,0	4,0 (1,7)	8,0 (3,5)	5,9 (2,6)	4,0 (3,3)	6,0 (5)	4,0 (3,3)	0,6	1,4	0,9
	105	paille	85	4,0	8,0	7,3	2,0 (0,9)	5,0 (2,2)	2,4 (1,1)	14,0 (11,6)	30,0 (24,9)	17,4 (14,5)	0,7	1,9	1,3
Maïs d'ensilage	170	plante entière	100	10,0	15,0	11,8	4,0 (1,7)	7,0 (3,1)	4,8 (2,1)	10,0 (8,3)	21,0 (17,4)	13,0 (10,8)	0,9	1,5	1,3
Maïs vert	60	plante entière	100	14,0	24,0	19,0	5,0 (2,2)	8,0 (3,5)	6,5 (2,8)	22,0 (18,3)	32,0 (26,6)	27,0 (22,4)	0,8	1,2	1,0
Pomme de terre consommation et industrielle	450	tubercules	22	2,0	4,0	3,0	1,0 (0,4)	2,0 (0,9)	1,3 (0,6)	4,0 (3,3)	6,0 (5)	5,4 (4,5)	0,2	0,2	0,2
	200	fanés	14	0,0	2,0	1,4	0,0 (0)	1,0 (0,4)	0,5 (0,2)	4,0 (3,3)	9,0 (7,5)	6,5 (5,4)	0,2	0,5	0,4
Pomme de terre précoce	300	tubercules	18	1,0	3,0	2,3	1,0 (0,4)	2,0 (0,9)	1,5 (0,7)	4,0 (3,3)	6,0 (5)	5,0 (4,2)	0,2	0,2	0,2
	200	fanés	8	2,0	5,0	3,3	0,0 (0)	1,0 (0,4)	0,7 (0,3)	4,0 (3,3)	10,0 (8,3)	7,0 (5,8)	0,3	0,8	0,6
Pomme de terre plant	250	tubercules	18	1,0	3,0	2,3	1,0 (0,4)	2,0 (0,9)	1,5 (0,7)	4,0 (3,3)	6,0 (5)	5,0 (4,2)	0,2	0,2	0,2
	200	fanés	8	2,0	5,0	3,3	0,0 (0)	1,0 (0,4)	0,7 (0,3)	4,0 (3,3)	10,0 (8,3)	7,0 (5,8)	0,3	0,8	0,6
Betterave sucrière	750	racines	22	1,0	3,0	1,2	0,0 (0)	1,0 (0,4)	0,6 (0,3)	2,0 (1,7)	4,0 (3,3)	2,0 (1,7)	0,2	0,4	0,3
	500	feuilles et collets	15	2,0	4,0	3,3	0,0 (0)	2,0 (0,9)	0,8 (0,3)	5,0 (4,2)	7,0 (5,8)	6,3 (5,2)	0,4	1,0	0,9
Betterave fourragère	175	racines	100	9,0	13,0	11,0	4,0 (1,7)	6,0 (2,6)	5,0 (2,2)	15,0 (12,5)	21,0 (17,4)	18,0 (14,9)	1,1	1,5	1,3
	400	feuilles	15	2,0	5,0	3,5	0,0 (0)	1,0 (0,4)	0,8 (0,3)	6,0 (5)	8,0 (6,6)	7,0 (5,8)	0,5	1,3	0,9
Colza d'automne	35	principal	90	26,0	34,0	26,1	13,0 (5,7)	19,0 (8,3)	14,6 (6,4)	8,0 (6,6)	11,0 (9,1)	8,5 (7,1)	2,0	3,2	2,4
	65	secondaire	85	5,0	10,0	7,0	2,0 (0,9)	4,0 (1,7)	2,0 (0,9)	12,0 (10)	18,0 (14,9)	12,4 (10,3)	0,6	2,0	0,6
Colza de printemps	25	principal	90	26,0	34,0	26,1	13,0 (5,7)	19,0 (8,3)	14,6 (6,4)	8,0 (6,6)	11,0 (9,1)	8,5 (7,1)	2,0	3,2	2,6
	45	secondaire	85	5,0	10,0	7,0	2,0 (0,9)	4,0 (1,7)	2,0 (0,9)	12,0 (10)	18,0 (14,9)	12,4 (10,3)	1,0	2,0	1,5
Tournesol	30	grain	85	28,0	35,0	31,5	9,0 (3,9)	13,0 (5,7)	11,0 (4,8)	7,0 (5,8)	10,0 (8,3)	8,4 (7)	2,3	3,7	3,0
	60	paille	60	8,0	10,0	9,0	2,0 (0,9)	3,0 (1,3)	2,7 (1,2)	55,0 (45,7)	68,0 (56,4)	61,5 (51)	6,5	8,5	7,5
Chanvre oléagineux	13	grain	90	40,0	52,0	46,0	20,0 (8,7)	30,0 (13,1)	25,0 (10,9)	7,0 (5,8)	15,0 (12,5)	11,0 (9,1)	4,1	6,7	5,4
	60	paille	85	7,0	11,0	9,0	3,0 (1,3)	5,0 (2,2)	4,0 (1,7)	10,0 (8,3)	18,0 (14,9)	14,0 (11,6)	1,0	2,0	1,5
Chanvre fibre	100	principal	85	2,0	4,0	3,0	2,0 (0,9)	4,0 (1,7)	3,0 (1,3)	7,0 (5,8)	11,0 (9,1)	9,0 (7,5)	0,3	0,7	0,5
	40	secondaire	90	23,0	32,0	27,5	12,0 (5,2)	18,0 (7,8)	15,0 (6,5)	20,0 (16,6)	35,0 (29,1)	27,5 (22,8)	3,0	7,0	5,0

Tableau 60a (suite). Teneurs en éléments nutritifs des produits végétaux.

Lorsque les cultures d'automne et de printemps ne sont pas différenciées, les mêmes valeurs sont valables pour les deux cas.

Espèces de grande culture	Rendement du produit récolté (dt/ha)	Produit	MS (%)	Teneurs en éléments minéraux (kg/t de matière fraîche)											
				N			P ₂ O ₅ (P)			K ₂ O (K)			Mg		
				inf	sup	val.	inf	sup	val.	inf	sup	val.	inf	sup	val.
Lin oléagineux	20	grain	90	45,0	64,0	54,5	9,0 (3,9)	15,0 (6,5)	12,0 (5,2)	7,0 (5,8)	12,0 (10)	9,5 (7,9)	0,3	0,7	0,5
	25	paille	85	4,0	8,0	6,0	4,0 (1,7)	6,0 (2,6)	5,0 (2,2)	13,0 (10,8)	23,0 (19,1)	18,0 (14,9)	0,5	1,2	0,9
Lin fibre	45	grain	85	8,0	12,0	10,0	6,0 (2,6)	8,0 (3,5)	7,0 (3,1)	15,0 (12,5)	25,0 (20,8)	20,0 (16,6)	1,0	3,0	2,0
	15	paille	90	45,0	64,0	54,5	9,0 (3,9)	15,0 (6,5)	12,0 (5,2)	7,0 (5,8)	12,0 (10)	9,5 (7,9)	0,3	0,7	0,5
Roseau de Chine	200	Plante entière	100	1,0	3,0	2,1	0,8 (0,3)	2,0 (0,9)	1,0 (0,4)	4,0 (3,3)	7,0 (5,8)	5,6 (4,6)	0,2	0,3	0,3
Kenaf	50	Plante entière	100	15,0	25,0	20,0	9,0 (3,9)	15,0 (6,5)	12,0 (5,2)	12,0 (10)	20,0 (16,6)	16,0 (13,3)	1,0	3,0	2,0
Pois protéagineux	40	grain	85	30,0	40,0	35,0	8,0 (3,5)	12,0 (5,2)	10,0 (4,4)	10,0 (8,3)	14,0 (11,6)	12,0 (10)	0,9	1,5	1,2
	50	paille	85	16,0	24,0	20,0	5,0 (2,2)	10,0 (4,4)	7,5 (3,3)	13,0 (10,8)	19,0 (15,8)	16,0 (13,3)	1,8	2,6	2,2
Féverole	40	grain	85	30,0	50,0	40,0	11,0 (4,8)	17,0 (7,4)	14,0 (6,1)	10,0 (8,3)	18,0 (14,9)	14,0 (11,6)	2,0	3,0	2,5
	45	paille	85	20,0	40,0	30,0	3,0 (1,3)	4,0 (1,7)	3,5 (1,5)	15,0 (12,5)	25,0 (20,8)	20,0 (16,6)	2,8	3,8	3,3
Soja	30	grain	85	45,0	75,0	60,0	10,0 (4,4)	18,0 (7,8)	11,7 (5,1)	15,0 (12,5)	23,0 (19,1)	19,3 (16)	2,0	3,0	2,0
	30	paille	85	25,0	45,0	35,0	10,0 (4,4)	15,0 (6,5)	11,7 (5,1)	20,0 (16,6)	40,0 (33,2)	21,4 (17,8)	2,9	8,0	2,9
Lupin doux	30	grain	88	45,0	65,0	55,0	8,0 (3,5)	12,0 (5,2)	10,0 (4,4)	11,0 (9,1)	16,0 (13,3)	13,5 (11,2)	1,6	2,4	2,0
	30	paille	85	25,0	45,0	35,0	3,0 (1,3)	5,0 (2,2)	4,0 (1,7)	15,0 (12,5)	25,0 (20,8)	20,0 (16,6)	3,0	5,0	4,0
Engrais vert (légumineuse)	25	Plante entière	100	20,0	36,0	28,0	8,0 (3,5)	12,0 (5,2)	10,0 (4,4)	24,0 (19,9)	48,0 (39,8)	36,0 (29,9)	1,5	2,5	2,0
Engrais vert (non légumineuse)	25	Plante entière	100	20,0	36,0	28,0	8,0 (3,5)	12,0 (5,2)	10,0 (4,4)	24,0 (19,9)	48,0 (39,8)	36,0 (29,9)	1,5	2,5	2,0
Dérobées (par utilisation)	25	Plante entière	100	24,0	32,0	28,0	8,0 (3,5)	11,0 (4,8)	9,5 (4,1)	25,0 (20,8)	45,0 (37,4)	35,0 (29,1)	2,0	3,0	2,5
Tabac Burley	25	feuilles	100	25,0	35,0	30,0	6,0 (2,6)	8,0 (3,5)	7,3 (3,2)	40,0 (33,2)	60,0 (49,8)	50,0 (41,5)	2,3	3,3	2,8
	30	troncs	100	20,0	26,0	23,0	6,0 (2,6)	8,0 (3,5)	7,3 (3,2)	35,0 (29,1)	55,0 (45,7)	45,0 (37,4)	1,5	2,5	2,0
Tabac Virginie	25	feuilles	100	20,0	30,0	25,0	5,0 (2,2)	6,0 (2,6)	5,5 (2,4)	40,0 (33,2)	55,0 (45,7)	47,5 (39,4)	1,5	2,5	2,0
	25	troncs	100	8,0	12,0	10,0	7,0 (3,1)	10,0 (4,4)	8,5 (3,7)	40,0 (33,2)	60,0 (49,8)	50,0 (41,5)	3,0	5,0	4,0

Tableau 60b. Teneurs en éléments nutritifs des herbages.

Cultures herbagères	Teneur en MS (%)	Teneurs en éléments minéraux (kg/t de matière sèche)				
		N	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O (K)	Mg	Ca
Prairie intensive	100	22-27 ¹	6,5-9,5 ² (2,8-4,1)	21-43 ³ (17,4-35,7)	2-3 ⁴	6-10 ⁵
Prairie mi-intensive	100	16-23 ¹	6-9 (2,6-3,9)	16-38 ³ (13,3-31,5)	1,8-2,8 ⁴	5,5-9,5 ⁵
Prairie peu intensive	100	12-20 ¹	5,5-8,0 ² (2,4-3,5)	12-33 ³ (10,0-27,4)	1,6-2,6 ⁴	4-9 ⁵
Prairie extensive	100	10-15 ¹	5-7 ² (2,2-3,1)	12-28 ³ (10,0-23,2)	1,5-2,5 ⁴	3,5-7,5 ⁵
Pâturage intensif	100	24-30 ¹	7-10 ² (3,1-4,4)	25-46 ³ (20,8-38,2)	2-3 ⁴	6,5-10 ⁵
Pâturage mi-intensif	100	18-26	6,5-9,5 ² (2,8-4,1)	19-42 ³ (15,8-34,9)	1,8-2,8 ⁴	6-9,5 ⁵
Pâturage peu intensif	100	13-22 ¹	6,0-8,5 ² (2,6-3,7)	14-37 ³ (11,6-30,7)	1,6-2,6 ⁴	4,5-9 ⁵
Pâturage extensif	100	10-20 ¹	5,5-7,5 ² (2,4-3,3)	12-33 ³ (10,0-27,4)	1,5-2,5 ⁴	4-7,5 ⁵
Légumineuses pures (production de semences)	100	20-40	4-10 (1,7-4,4)	16-39 (13,3-32,4)	1,4-3	12-18
Graminées pures (production de semences)	100	12-26	4-11 (1,7-4,8)	14-39 (11,6-32,4)	1,4-3	3-6

- 1 Un fourrage riche en graminées contient 5 à 10% d'azote en moins, un fourrage riche en légumineuses 10 à 25% en plus et un fourrage riche en autres plantes jusqu'à 10% en plus.
- 2 Les prélèvements en phosphore d'une prairie riche en légumineuses ou en graminées sont comparables à ceux d'une prairie équilibrée; un fourrage riche en autres plantes exporte 10 à 20% de phosphore en plus.
- 3 La plus faible des deux valeurs indiquées correspond au prélèvement lorsque la richesse en potassium de la prairie concernée est normale; la valeur supérieure correspond au cas fréquent où la richesse en potassium est trop élevée; ces valeurs sont aussi valables pour une prairie riche en graminées ou en légumineuses; une prairie dominée par les autres plantes exporte 10 à 20% de potassium en plus.
- 4 Ces prélèvements sont peu influencés par la proportion de graminées ou de légumineuses; une prairie riche en autres plantes exporte 10 à 20% de magnésium en plus; une prairie à ray-grass d'Italie peut produire un fourrage contenant moins de 1,5 kg Mg/t matière sèche, surtout au printemps; en été, les prélèvements sont en général 30% plus élevés qu'au printemps.
- 5 Une prairie riche en graminées prélève 20% de Ca en moins, une prairie riche en légumineuses ou en autres plantes 20 à 50% en plus; en été, les prélèvements par unité de rendement sont en moyenne 20% plus élevés qu'au printemps.

Tableau 61. Teneurs en éléments nutritifs des produits animaux et du lait.

Ces valeurs ont été utilisées pour faire les bilans qui ont permis de déterminer les déjections.

Type d'animal/produit	Teneurs en éléments (g/kg poids vif; g/l)						
	N	P ₂ O ₅	(P)	K ₂ O	(K)	Mg	Ca
Vache laitière	25	13,8	(6)	1,9	(1,6)	0,5	11,6
Veau	24	13,4	(5,9)	2,2	(1,6)	0,35	11
Taureau à l'engrais	28	16,1	(7)	2,5	(2,1)	0,4	13
Mouton	22	13,8	(6)	1,4	(1,2)	0,3	11
Chèvre	26	13,8	(6)	2,3	(1,9)	0,4	11
Porcelet	24,6	12,2	(5,3)	2,2	(1,8)	0,35	7,8
Porc à l'engrais ¹	22,2	12,2	(5,3)	1,9	(1,6)	0,35	8,7
Augmentation de poids (25-200 kg)	21,4	12,2	(5,3)	1,8	(1,5)	0,35	9
Volaille	26	11,9	(5,2)	2,9	(2,4)	0,3	10
Lait	5,5	2,2	(1)	1,66	(1,4)	0,12	1,25

- 1 La truie n'est en général pas prise en compte dans le bilan, sinon comme porc à l'engrais.

Tableau 62. Facteurs de conversion des différentes formes des éléments fertilisants.

Connu		Facteur	Recherché	
Elément ou molécule	Dénomination usuelle		Elément ou molécule	Dénomination usuelle
N	Azote	4,427	NO ₃ ⁻	Nitrate
N	Azote	1,214	NH ₃	Ammoniac
N	Azote	1,286	NH ₄ ⁺	Ammonium
N	Azote	2,857	NH ₄ NO ₃	Nitrate d'ammoniaque
N	Azote	4,716	(NH ₄) ₂ SO ₄	Sulfate d'ammoniaque
N	Azote	2,144	CH ₄ N ₂ O	Urée
NO ₃ ⁻	Nitrate	0,226	N	Azote
NH ₃	Ammoniac	0,824	N	Azote
NH ₄ ⁺	Ammonium	0,778	N	Azote
NH ₄ NO ₃	Nitrate d'ammoniaque	0,350	N	Azote
(NH ₄) ₂ SO ₄	Sulfate d'ammoniaque	0,212	N	Azote
CH ₄ N ₂ O	Urée	0,466	N	Azote
P	Phosphore	2,291	P ₂ O ₅	Anhydrite phosphorique (unité conventionnelle)
P ₂ O ₅	Anhydrite phosphorique (unité conventionnelle)	0,436	P	Phosphore
K	Potassium	1,205	K ₂ O	Oxyde de potassium (unité conventionnelle)
K ₂ O	Oxyde de potassium (unité conventionnelle)	0,830	K	Potassium
Ca	Calcium	2,497	CaCO ₃	Calcaire
Ca	Calcium	1,399	CaO	Chaux vive
Ca	Calcium	1,850	Ca(OH) ₂	Chaux éteinte
Ca	Calcium	4,297	CaSO ₄ · H ₂ O	Sulfate de calcium (gypse)
CaO	Chaux vive	0,715	Ca	Calcium
CaO	Chaux vive	1,785	CaCO ₃	Calcaire
CaO	Chaux vive	1,321	Ca(OH) ₂	Chaux éteinte
Ca(OH) ₂	Chaux éteinte	0,540	Ca	Calcium
Ca(OH) ₂	Chaux éteinte	0,757	CaO	Chaux vive
Ca(OH) ₂	Chaux éteinte	1,351	CaCO ₃	Calcaire
CaCO ₃	Calcaire	0,400	Ca	Calcium
CaCO ₃	Calcaire	0,561	CaO	Chaux vive
CaCO ₃	Calcaire	0,740	Ca(OH) ₂	Chaux éteinte
CaSO ₄ ·H ₂ O	Sulfate de calcium (gypse)	0,233	Ca	Calcium
Mg	Magnésium	1,658	MgO	Oxyde de magnésium
Mg	Magnésium	4,951	MgSO ₄	Sulfate de magnésium
Mg	Magnésium	3,472	MgCO ₃	Carbonate de magnésium
MgO	Oxyde de magnésium	0,603	Mg	Magnésium
MgO	Oxyde de magnésium	2,986	MgSO ₄	Sulfate de magnésium
MgO	Oxyde de magnésium	2,093	MgCO ₃	Carbonate de magnésium
MgSO ₄	Sulfate de magnésium	0,202	Mg	Magnésium
MgSO ₄	Sulfate de magnésium	0,335	MgO	Oxyde de magnésium
MgSO ₄	Sulfate de magnésium	0,701	MgCO ₃	Carbonate de magnésium

Connu		Facteur	Recherché	
Elément ou molécule	Dénomination usuelle		Elément ou molécule	Dénomination usuelle
MgCO ₃	Carbonate de magnésium	0,288	Mg	Magnésium
MgCO ₃	Carbonate de magnésium	0,476	MgO	Oxyde de magnésium
MgCO ₃	Carbonate de magnésium	1,427	MgSO ₄	Sulfate de magnésium
S	Soufre	2,995	SO ₄ ²⁻	Sulfate
S	Soufre	2,498	SO ₃ ²⁻	Sulfite
SO ₄ ²⁻	Sulfate	0,334	S	Soufre
SO ₃ ²⁻	Sulfite	0,401	S	Soufre
B	Bore	5,627	H ₃ BO ₃	Acide borique
B	Bore	8,819	Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O	Borax
B	Bore	3,220	B ₂ O ₃	Anhydride borique
B ₂ O ₃	Anhydride borique	0,311	B	Bore
B ₂ O ₃	Anhydride borique	1,777	H ₃ BO ₃	Acide borique
B ₂ O ₃	Anhydride borique	2,739	Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O	Borax
H ₃ BO ₃	Acide borique	0,178	B	Bore
H ₃ BO ₃	Acide borique	1,567	Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O	Borax
H ₃ BO ₃	Acide borique	0,572	B ₂ O ₃	Anhydride borique
Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O	Borax	0,113	B	Bore
Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O	Borax	0,638	H ₃ BO ₃	Acide borique
Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O	Borax	0,365	B ₂ O ₃	Anhydride borique
Mn	Manganèse	4,061	MnSO ₄ · 4H ₂ O	Sulfate de manganèse
Mn	Manganèse	3,603	MnCl ₂ · 4H ₂ O	Chlorure de manganèse
MnSO ₄ · 4H ₂ O	Sulfate de manganèse	0,246	Mn	Manganèse
MnCl ₂ · 4H ₂ O	Chlorure de manganèse	0,278	Mn	Manganèse
Cu	Cuivre	3,928	CuSO ₄ · 5H ₂ O	Sulfate de cuivre
CuSO ₄ · 5H ₂ O	Sulfate de cuivre	0,255	Cu	Cuivre
Fe	Fer	4,979	FeSO ₄ · 7H ₂ O	Sulfate de fer
FeSO ₄ · 7H ₂ O	Sulfate de fer	0,201	Fe	Fer
Zn	Zinc	4,398	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	Sulfate de zinc
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	Sulfate de zinc	0,227	Zn	Zinc
Mo	Molybdène	1,840	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	Molybdate d'ammonium
Mo	Molybdène	2,522	Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	Molybdate de sodium
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	Molybdate d'ammonium	0,543	Mo	Molybdène
Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	Molybdate de sodium	0,397	Mo	Molybdène

- SR 916.171** Ordonnance du 26 janvier 1994 sur la mise dans le commerce des engrais et des produits assimilés aux engrais (O sur les engrais)
- SR 916.171.1** Ordonnance du DFE du 8 mai 1995 sur les engrais et les produits assimilés aux engrais (Olen)
- SR 910.18** Ordonnance du 22 septembre 1997 sur l'agriculture biologique et la désignation des produits et des denrées alimentaires biologiques (O sur l'agriculture biologique)
– Fumure (Art. 12)
- SR 910.181** Ordonnance du DFE du 22 septembre 1997 sur l'agriculture biologique
– Engrais et produits assimilés aux engrais (Art. 2)
– Engrais et produits assimilés aux engrais autorisés (*Annexe 2*)
- SR 814.20** Loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux)
– Devoir de diligence (Art. 3)
– Principe (Art. 6)
– Cas particuliers dans le périmètre des égouts publics (Art. 12 al. 4)
– Exploitations pratiquant la garde d'animaux de rente (Art. 14)
– Contrôle des installations et des équipements (Art. 15)
– Exploitation des sols (Art. 27)
– Vulgarisation en matière d'engrais (Art. 51)
– Installations d'entreposage des engrais de ferme (Art. 77)
– Quantités d'engrais maximales (Art. 78)
- SR 814.01** Loi fédérale du 7 octobre 1983 sur la protection de l'environnement (LPE)
– Utilisation respectueuse de l'environnement (Art. 28)
– Obligation de renseigner (Art. 46)
- SR 814.81** Ordonnance du 18 mai 2005 sur la réduction des risques liés à l'utilisation de substances, de préparations et d'objets particulièrement dangereux (Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques, ORRChim)
- SR 814.201** Ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (Oeaux)
– Exploitations pratiquant la garde d'animaux de rente (Art. 22)
– Unités de gros bétail-fumure (Art. 23)
– Rayon d'exploitation usuel (Art. 24)
– Dérogations aux exigences concernant la surface utile (Art. 25)
– Contrats de prise en charge d'engrais (Art. 26)
– Registre des remises d'engrais de ferme (Art. 27)
– Contrôle des installations de stockage des engrais de ferme (Art. 28)
- SR 921.0** Loi fédérale du 4 octobre 1991 sur les forêts (Lfo)
– Substances dangereuses pour l'environnement (Art. 18)
- SR 921.01** Ordonnance du 30 novembre 1992 sur les forêts (Ofo)
– Engrais (Art. 27)
- SR 910.13** Ordonnance du 7 décembre 1998 sur les paiements directs versés dans l'agriculture (OPD)
– Bilan de fumure équilibré (Art. 6)
– Annexe (Tit. 1, chap. 3) Prestations écologiques requises: règles techniques
– Bilan de fumure équilibré (Chiffre 2)
- SR 910.133** Ordonnance du 29 mars 2000 sur les contributions d'estivage (Ocest)
– Fixation de la charge usuelle en bétail (Art. 6).

Tableau 63. Liste des abréviations et commentaires.

Abréviation/terme	Explication
B Ca Ca(OH) ₂ CaCO ₃ CaO CEC Cl	Bore Calcium Hydroxyde de calcium, chaux éteinte Carbonate de calcium, calcaire Oxyde de calcium, chaux vive Capacité d'échange des cations Chlore
Compost de fumier	Fumier stocké pendant plus de 6 mois et brassé à plusieurs reprises. La structure de la paille/litière n'est plus reconnaissable. Couleur: brun foncé. Matériel de base: fumier de bovin frais ou de stabulation, fumier d'autres types d'animaux
Crottes de poule	Contiennent tous les excréments des poules provenant de poulaillers avec tapis roulant
Cu	Cuivre
EDP Efficacité de N Fe	Energie digestible porcs Efficacité de l'azote des engrais de ferme et des engrais de déchets sur le rendement et la qualité des plantes. Cette valeur est donnée en % par rapport à une quantité équivalente d'azote apporté sous forme d'engrais minéral (en général du nitrate d'ammoniaque). Avec les cultures qui ne croissent pas durant toute la période de végétation (ex: céréales, pommes de terre) ou lorsque la gestion des engrais de ferme n'est pas optimale, les pertes d'azote sont plus importantes et l'efficacité souvent plus faible Fer
Fumier au tas	Fumier stocké plus de 3 mois sans soin particulier, en tas sur une place en dur, à l'extérieur de l'étable. La structure de la paille/litière est encore reconnaissable. Couleur: foncée (brun verdâtre). Matériel de base: fumier de bovin frais
Fumier composté	Fumier stocké durant plus de 3 mois et brassé au moins une fois. La structure de la paille/litière est faiblement reconnaissable. Couleur: brun. Matériel de base: fumier de bovin frais ou de stabulation, fumier d'autres types d'animaux
Fumier de cheval, de mouton, de chèvre et de veau Fumier de poule, de poulet, de dinde	Fumier stocké plus de 3 mois sans soin particulier, en tas sur une place en dur, à l'extérieur de l'étable. La structure de la paille/litière est encore reconnaissable. Contient la litière, la totalité des fèces et une proportion variable d'urine Contient la litière et la totalité des excréments de la volaille
Fumier de stabulation	Fumier de stabulation libre. Contient la totalité des fèces, de l'urine et de la litière
Fumier frais	Fumier dont le stockage est inférieur à 1 mois
K ₂ O	Potasse
Lisier, lisier de porc	Contiennent tous les excréments des animaux et éventuellement de la litière (paille hachée, sciures, copeaux, etc.)
MF	Matière fraîche
Mg MgCO ₃ MJ Mn Mo	Magnésium Carbonate de magnésium Mégajoule Manganèse Molybdène

Tableau 63 (suite). Liste des abréviations et commentaires.

Abréviation/terme	Explication
MS N N soluble N_{disp} NH₃ NH₄⁺ N_{min} NO₃⁻ Norme (N) Norme (P, K, Mg) Norme corrigée (P, K, Mg)	Matière sèche Azote Forme d'azote soluble dans l'eau (ammonium, urée, etc.) des excréments d'animaux et des engrais de ferme Azote disponible. Part de l'azote total en %, ou teneur en azote des résidus de récolte, des engrais de ferme, des engrais de déchets et des engrais verts, disponible pour la plante à court et moyen terme, lorsque le mode d'exploitation est optimal. Cette valeur n'est pas identique à l'azote valorisable par les plantes, car une partie de l'azote organique est aussi disponible en dehors de la phase de la formation du rendement. Ce dernier peut engendrer une augmentation désirée de la teneur en azote des produits principaux ou secondaires (ex: céréales) ou non désirée (ex: betterave sucrière, légumes à feuilles) ou une augmentation du lessivage des nitrates, plus particulièrement en grandes cultures et en culture maraîchère de pleine terre Ammoniac Ammoniaque Azote minéral du sol. Il comprend les teneurs en nitrate et en ammonium d'un échantillon de sol frais Nitrate Besoin des cultures en fertilisants azotés pour produire un bon rendement de qualité irréprochable dans des conditions climatiques et pédologiques moyennes. Besoin des cultures en P, K et Mg pour produire un bon rendement de qualité irréprochable Besoin des cultures en fertilisants P, K et Mg pour produire un bon rendement de qualité irréprochable pour un sol dont la fertilité est optimale
N_{tot} N-utile	Azote total, indépendamment de la forme Quantité, en %, de l'azote retrouvé dans la plante par rapport à celui qui est apporté par l'engrais. On l'obtient en comparant la différence de prélèvement d'azote entre une parcelle fertilisée et une parcelle non fertilisée
P₂O₅ PE	Anhydrite phosphorique Place de poulet
PP PPE	Place de poule pondeuse Place de porc à l'engrais
Prélèvement PTE	Quantité d'éléments fertilisants pris au sol (ou à l'air) par les plantes (sans les chaumes ni les racines) Place de truie d'élevage
Purin pauvre en excréments solides	Contient la plus grande partie de l'urine et une quantité variable de fèces (selon le type de stabulation et la quantité de litières)
Résidus de récolte	Produits annexes de la production végétale (pailles, fanes de pommes de terre, feuilles de betteraves, etc.)
S	Soufre
Sat	Taux de saturation, proportion des ions calcium, potassium, magnésium et sodium de la CEC
SO₃⁻ SO₄⁻ UGB	Sulfite Sulfate Unité de gros bétail
Valeur indicative pour les engrais de ferme	Valeurs calculées en général à partir des plans d'affouragement (avec plusieurs rations selon le type d'animal). Des analyses d'engrais de ferme provenant d'exploitations ont aussi été utilisées. Il se peut que des écarts importants liés à l'affouragement et au système de stabulation apparaissent dans des cas particuliers
Zn	Zinc

Propose une fumure optimale

«La solution pour l'avenir!»



Le plan de fumure idéal qui associe:

- Les normes de fumure (DBF) aux prestations écologiques requises (PER)
- L'adaptation du besoin des cultures aux objectifs de rendements
- La gestion des engrais de ferme ainsi que leur répartition sur les parcelles
- Les rendements des prairies aux besoins du troupeau
- L'interprétation des résultats d'analyses de terre et le choix des corrections de fumure conséquentes
- L'agronomie à la pratique

Agriland est compatible avec le logiciel **GiQ** développé par AGRIDEA, permettant le calcul et l'édition des fiches PER et du Suisse-Bilanz

Pour tout renseignement:

LANDOR, fenaco

Rte de Grosse-Pierre – Case postale 235 – 1530 Payerne
Tél. 026 662 14 57

Secrétariat Agricultclub

Case postale 155 – 1880 Bex
Tél. 024 463 13 80

LANDOR

Avec vous,
aujourd'hui et demain!

www.landor.ch