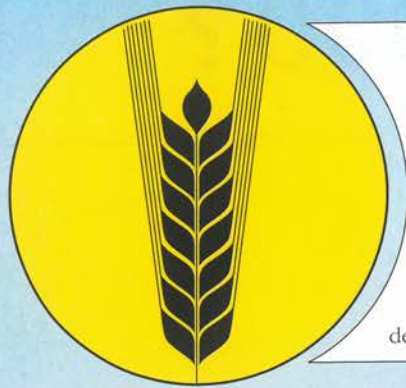


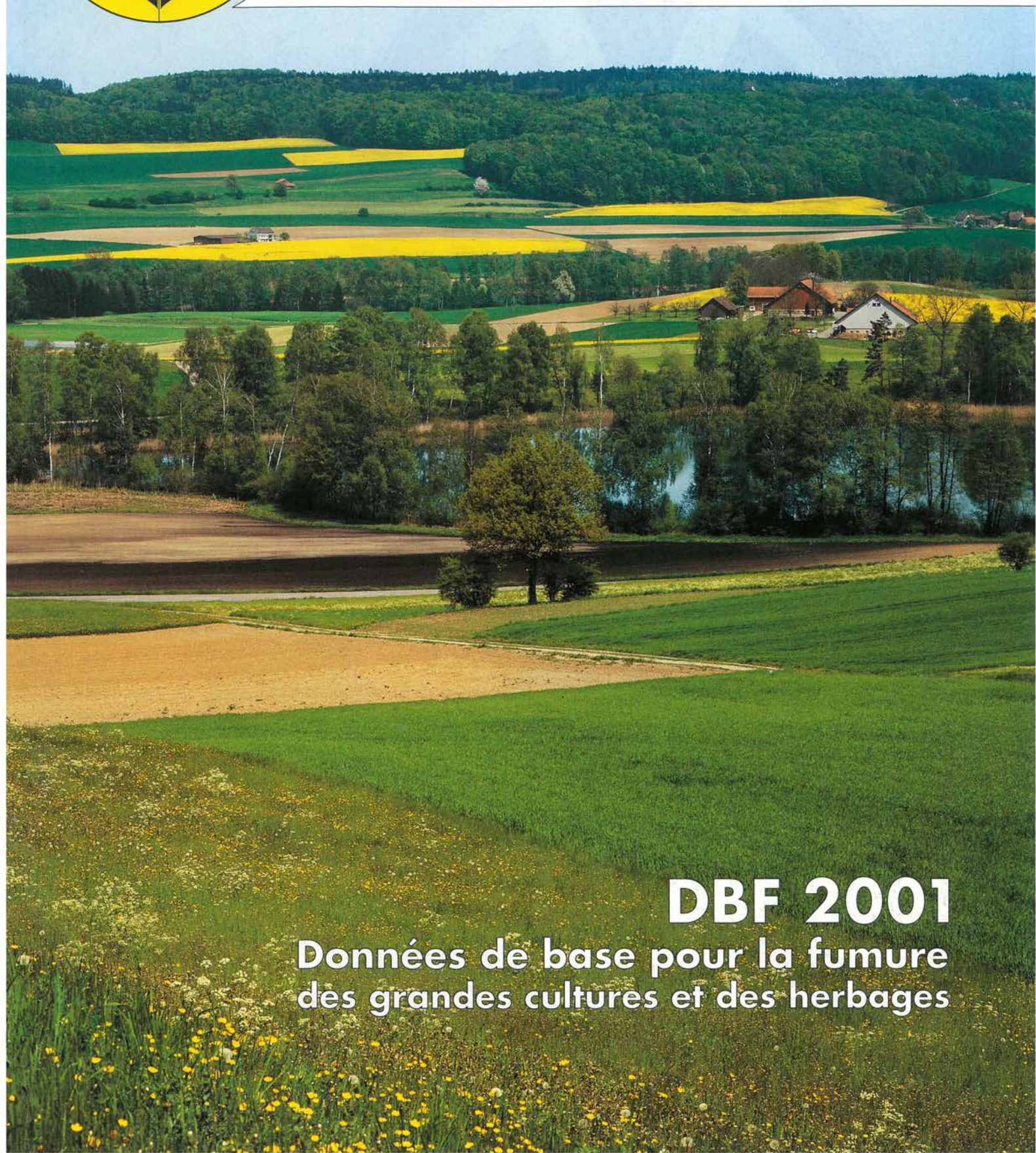


Revue suisse d'agriculture

Mai-Juin 2001 – Vol. 33 – N° 3

Prix: 15.-

Publiée par les Stations fédérales de recherches agronomiques de Changins et de Posieux, le Service romand de vulgarisation agricole et avec l'appui de l'Association des groupements et organisations romands de l'agriculture



DBF 2001

Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages

4 sur 400 ou sur 4000 ?



www.vw-nutzfahrzeuge.ch

• Franchement, il est difficile de dire combien de possibilités VW vous offre au juste pour augmenter votre productivité dans le transport de personnes ou de marchandises. Le choix quasi illimité de variantes de carrosserie, d'équipement, de motorisation, d'empattement, etc. autorise au moins autant de combinaisons qu'il y a, en Suisse, d'entreprises férues de qualité. Et ces dernières sont de plus en plus nombreuses, comme le prouve la

croissance de 15% des ventes d'utilitaires VW l'an passé. Toutes, elles apprécient le fait que, quelles que soient les différences entre eux, les VW Caddy, VW Transporter et VW LT sont tous d'authentiques VW, c'est-à-dire imbattables en matière de fiabilité, de robustesse et de rentabilité. Merci aux milliers de clients qui leur font confiance! Il y a des utilitaires VW à partir de fr. 16 920.-.

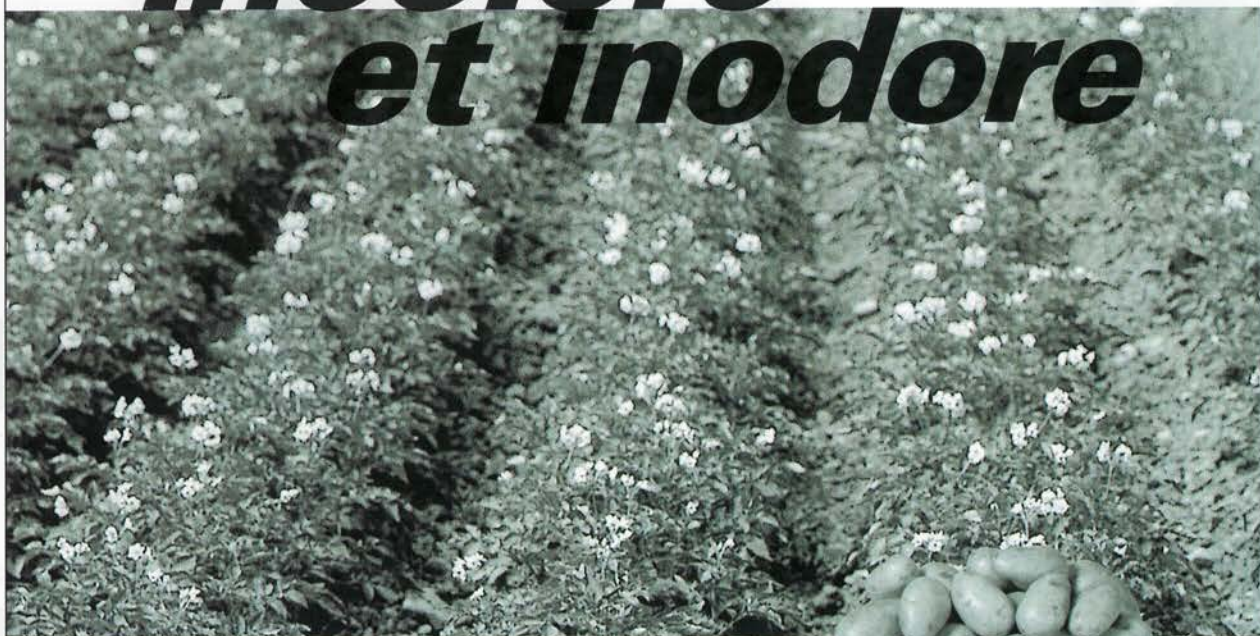


Utilitaires et minibus VW sont plus rentables,
kilomètre après kilomètre.





Incolore et inodore



***Le produit révolutionnaire pour brûler
les rames. A l'avenir sans jaunir.***

Spotlight[®]

Maag Agro, 8157 Dielsdorf

Classe de toxicité 4, observer la mise en garde figurant sur l'emballage

Potasse Magnésium Soufre

Des sols fertiles sont la base de
chaque domaine agricole.



Des sols bien pourvus en potasse
et magnésium:

**un précieux capital qu'il
faut entretenir!**

La génération montante vous en
sera reconnaissante.

Brochure technique sur
www.potasse.ch

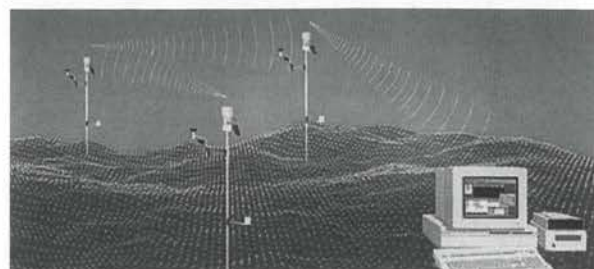
KALI AG
POTASSE SA
Murtenstrasse 116
Case postale
3202 Frauenkappelen

VOTRE PUBLICITÉ dans la



Revue suisse d'agriculture
sera
VUE par vos **CLIENTS**

Régie des annonces: PRAGMATIC SA Tél. (022) 736 68 06
Avenue Saint-Paul 9 CH-1208 Genève Fax (022) 786 04 23



ADCON AGRO EXPERT

AGRO-MÉTÉO SANS FIL, SANS TÉLÉPHONE, SANS FRAIS ANNEXES

Matériel+Logiciel précis de prévision et gestion des
risques de maladies et phytopathologie.

Ce système a pour but de limiter les frais de traitements
et les interventions peu utiles.

Résultats: **Qualité accrue + Economie – Pollution**

Possibilité de travailler en réseau avec plusieurs sta-
tions sans fil sur plusieurs dizaines de kilomètres.

Toutes vos parcelles en quelques clics de souris.

Logiciel complet avec modèles: vignes, pommiers, irrigation,
betteraves, pommes de terre, statistiques, etc.

AgriTechno *L'agriculture de précision*

Case postale 24 – CH 1066 Epalinges
Tél. 021/784 19 60 – Fax 021/784 36 35 – GSM 079/333 04 10
E-mail: agritechno-lambert@bluewin.ch

Avant-propos

Les «Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages» (DBF 2001) contiennent toutes les informations utiles pour une fumure respectueuse de la végétation et de l'environnement dans l'agriculture. Pivotal agronomique, écologique et technique de la fumure, ces données peuvent être utilisées par les agriculteurs et par les services de vulgarisation. La mise en pratique des principes énoncés dans ce document permet de produire des denrées agricoles de qualité élevée tout en maintenant la fertilité du sol et en respectant les impératifs de la protection de l'environnement et de la durabilité.

C'est en 1964 que les Stations fédérales de recherche agronomique ont édicté les premières données de base pour la fumure en Suisse, données revues plus tard en 1972, 1987 et 1994 en fonction des nouvelles connaissances acquises.

La présente révision 2001 apporte un certain nombre de changements liés à de nouveaux résultats d'essais et aux expériences recueillies sur le terrain. Les principales modifications et innovations concernent une nouvelle méthode d'ana-

lyse du sol pour les grandes cultures et les herbages, ainsi que le volume et la teneur de différents engrais de ferme. Des changements s'imposaient pour ces derniers, en raison surtout des modifications survenues dans l'alimentation des animaux et des résultats récents de relevés et d'analyses.

Nous remercions tous ceux qui ont soutenu le projet ou qui ont apporté leurs conseils. Je remercie tout particulièrement les collaborateurs des Stations fédérales de recherches agronomiques, de l'Institut de recherches en agriculture biologique et des centrales de vulgarisation de Lausanne (SRVA) et de Lindau (LBL), sans oublier les membres du groupe de travail «sol, fumure et environnement», la Commission romande des fumures et les représentants des fabricants d'engrais.

Nous espérons que le présent document contribuera favorablement à la poursuite du développement d'une production agricole durable.

Jacques Morel,
sous-directeur de l'Office
fédéral de l'Agriculture, Berne

Publiées par la Station fédérale de recherches en production végétale de Changins (RAC), CH-1260 Nyon

et la Station fédérale de recherches en agroécologie et agriculture de Reckenholz (FAL), CH-8046 Zurich

Rédaction Jean-Pierre Ryser, RAC
Ulrich Walther, FAL
René Flisch, FAL

Contributions René Flisch, FAL
Ulrich Herter, FAL
Willi Kessler, FAL
Harald Menzi, FAL
Ulrich Walther, FAL
Bernard Jeangros, RAC
Didier Pellet, RAC
Jean-Pierre Ryser, RAC
Pierre A. Vullioud, RAC
Rainer Frick, Station fédérale de recherche en économie et technologie agricole de Tänikon, FAT
Alfred Berner, Institut de recherches de l'agriculture biologique Frick, IRAB,

Photo de couverture Gabriela Brändle, FAL

Prix CHF 15.- / 10.- Euros

Distribution RAC / FAL

1. INTRODUCTION	4
2. BUTS ET PRINCIPES D'UNE FUMURE DIRIGÉE	4
3. NORMES DE FUMURE	6
3.1 Relation entre le prélèvement en éléments et la norme de fumure phosphatée, potassique et magnésienne	6
3.2 Grandes cultures et cultures maraîchères de pleine terre	8
3.3 Herbages	12
4. ANALYSE DE SOL ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS	16
5. ANALYSES DE PLANTES	18
6. FUMURE PHOSPHATÉE, POTASSIQUE ET MAGNÉSIEUNE	20
6.1 Correction de la norme de fumure phosphatée, potassique et magnésienne à partir de l'extrait à l'acétate d'ammonium + EDTA	20
6.2 Correction de la norme de fumure phosphatée et potassique à partir de l'extrait à l'eau saturée de CO ₂	24
6.3 Correction des normes de fumure pour le magnésium à partir de l'extrait au CaCl ₂	26
6.4 Remarques particulières concernant l'utilisation d'engrais phosphatés, potassiques et magnésiens	26
7. FUMURE AZOTÉE	28
7.1 Grandes cultures	28
7.1.1 Méthode des normes corrigées (méthode par estimation)	30
7.1.1.1 Principes de la méthode des normes corrigées	30
7.1.1.2 Procédure pour déterminer la norme corrigée	32
7.1.2 Méthode fondée sur l'analyse du sol (méthode N _{min})	36
7.1.3 Méthodes complémentaires et autres	38
7.2 Herbages	38
7.3 Stratégie de la fumure azotée lorsque la quantité d'azote est limitée	40
8. ENTRETIEN CALCIQUE DU SOL	42
9. SOUFRE ET OLIGO-ÉLÉMENTS	44
9.1 Soufre	44
9.1.1 Marche à suivre pour déterminer le risque de carence en soufre	44
9.1.2 Forme et moment d'application de la fumure soufrée	44
9.2 Bore et manganèse	46
10. RÉSIDUS DE RÉCOLTE	46

11. ENGRAIS DE FERME	48
11.1 Production et teneurs	48
11.1.1 Déjection d'éléments fertilisants par les animaux de rente	48
11.1.2 Production de lisier/purin et de fumier	52
11.1.3 Teneurs en éléments fertilisants des engrais de ferme	54
11.1.4 Préparation des engrais de ferme	54
11.1.5 Disponibilité de l'azote des engrais de ferme	56
11.2 Utilisation des engrais de ferme	58
11.2.1 Moment d'application du lisier/purin et du fumier	58
11.2.2 Critères définissant le dosage des engrais de ferme	58
12. BOUES D'ÉPURATION ET COMPOST	60
13. CARACTÉRISTIQUES ET PARTICULARITES DE LA CULTURE BIOLOGIQUE	60
14. FUMURE ET ENVIRONNEMENT	62
14.1 La fumure fait partie du cycle des éléments nutritifs	62
14.2 Aperçu de l'aptitude potentielle des engrais à assurer une fumure dirigée, économique et respectueuse de l'environnement	62
14.3 Dispositions pour éviter les pertes en éléments fertilisants	64
14.3.1 Lessivage et lixiviation	64
14.3.2 Entraînement par ruissellement et écoulement superficiel	64
14.3.3 Volatilisation	66
14.4 Conséquences d'une surfumure	66
14.5 Substances dangereuses et agents pathogènes	66
14.6 Résumé des recommandations pour une fumure ménageant l'environnement	68
15. FUMURE ET QUALITÉ DES PRODUITS	68
16. PRATIQUE DE LA FERTILISATION	68
16.1 Plan de fumure	68
16.2 Choix des engrais	68
16.3 Possibilités d'impasse sur la fumure minérale en P, K et Mg	69
16.4 Fumure de rotation	69
16.5 Possibilités et limites de différentes méthodes pour faire le bilan des éléments fertilisants	69
17. TECHNIQUES D'ÉPANDAGE POUR LES ENGRAIS MINÉRAUX, LES ENGRAIS DE FERME ET LES ENGRAIS À BASE DE DÉCHETS	70
18. ANNEXES	72
18.1 Caractéristiques des différentes formes des éléments fertilisants et des engrais	72
18.2 Teneurs en éléments nutritifs des produits végétaux et animaux	74
18.3 Table de conversion	77
18.4 Abréviations et termes utilisés	78
18.5 Lois et ordonnances concernant la commercialisation et l'utilisation des engrais	80

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 vécues et la nécessité de réactualiser certaines données. Les résultats d'essais et de recherches antérieures ont également été revalorisés de manière critique afin de consolider les données de base.

Ce document est d'abord prévu pour les services de vulgarisation agricole, mais il peut aussi servir aux agriculteurs d'aide à la décision en matière de fertilisation. Il ne s'agit pas d'un manuel sur les données fondamentales de la fumure ou sur les relations sol-plante.

L'évolution toujours plus rapide des techniques et des moyens de production, ainsi que la diversification locale ou momentanée de l'agriculture font que ce document ne peut pas répondre à toutes les questions. En cas de doute, il convient de chercher des solutions avec les services de vulgarisation ou les Stations de recherches.

Les données de ce document sont basées sur des principes fondamentaux de sciences naturelles. Elles sont donc valables pour tous les systèmes de production agricole orientés sur des bases de production naturelle.

2. BUTS ET PRINCIPES D'UNE FUMURE DIRIGÉE

La plante se nourrit d'éléments nutritifs prélevés dans le sol et l'air, incorporés par ce biais dans les aliments et les fourrages. Certaines quantités d'éléments nutritifs quittent ainsi le sol ou l'exploitation sous forme de produits végétaux ou animaux. La tâche principale de la fertilisation consiste à rééquilibrer au mieux le cycle des éléments nutritifs (fig. 1). Il s'agit d'optimiser la production végétale et la fumure sans surexploiter ni sur-enrichir le sol.

La notion de fertilisation englobe tout apport d'éléments nutritifs essentiels pour les végétaux (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn), quelle qu'en soit la forme. La fumure a pour but d'entretenir l'offre en éléments fertilisants afin d'assurer une croissance harmonieuse des plantes et l'obtention d'un bon rende-

ment de qualité irréprochable, tout en respectant l'environnement.

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

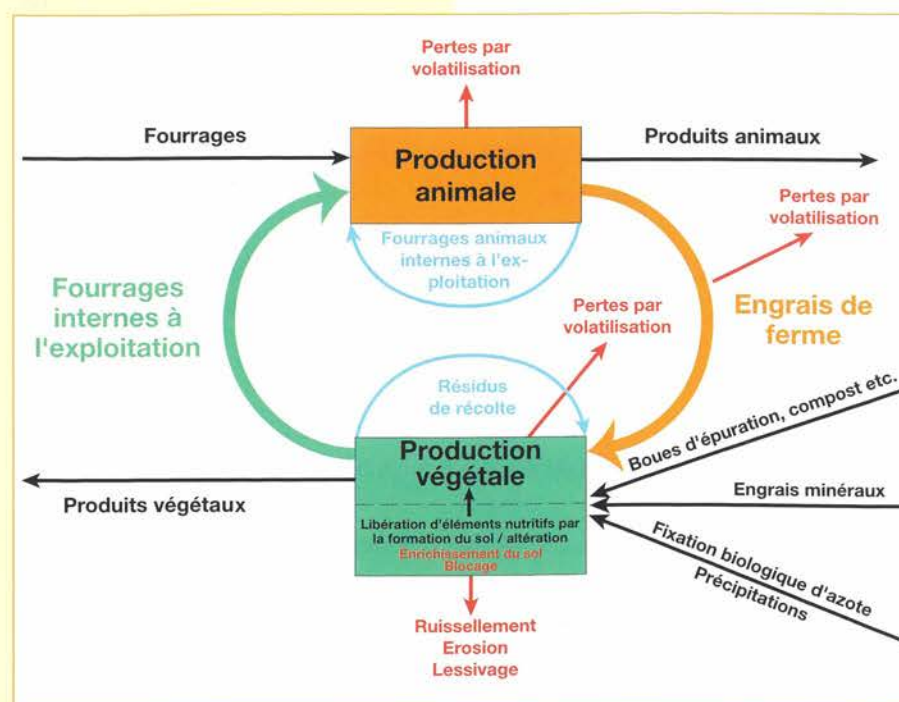
1. Les besoins des plantes en éléments nutritifs
2. Les fertilisants disponibles dans le sol
3. La quantité d'engrais de ferme disponible
4. Les teneurs et caractéristiques des engrais de ferme, des déchets d'origine agricole ou urbaine et des engrais du commerce
5. Les besoins momentanés de chaque culture
6. Le comportement des engrais et des éléments fertilisants dans l'environnement (sol, eau, air)
7. 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 ren-

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

Fig. 1. Cycle interne des éléments fertilisants d'une exploitation agricole.

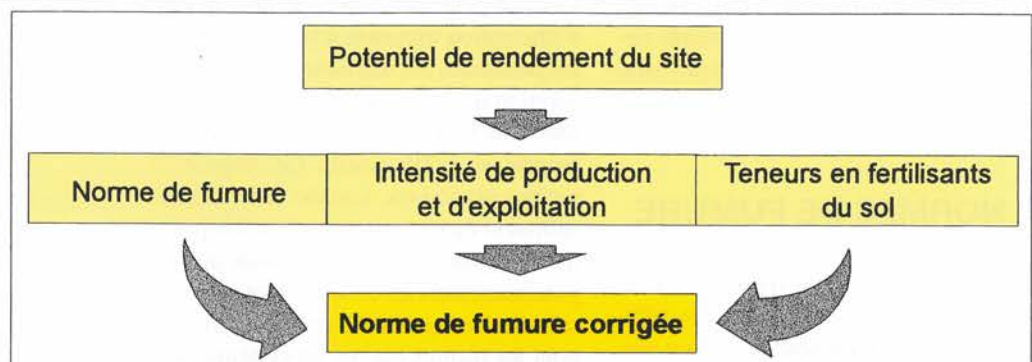


Données de base et moyens

Plantes et sol	Engrais
Besoins quantitatifs des cultures (normes de fumure) Résultats d'analyse de terre Type de sol (taux de matière organique et granulométrie) Grille d'interprétation des résultats d'analyse de terre, calée selon des résultats d'essais	Production d'engrais de ferme et de résidus de récolte Teneurs en éléments et caractéristiques: - résidus de récolte, engrais de ferme - engrais de déchets, engrais minéraux

Procédure

1. Définir les besoins en fonction de la plante et du site



2. Couverture des besoins en fertilisants par les résidus de cultures et les engrais

1. Racines et résidus du précédent cultural
2. Répartition optimale des engrais de ferme dans l'espace et dans le temps
3. Utilisation appropriée des engrais de déchets
4. Utilisation appropriée des engrais minéraux

3. Eviter les pertes en fertilisants par une utilisation maximale des éléments nutritifs par la plante

Eviter la pollution atmosphérique	Eviter la pollution des eaux
Renoncer à l'épandage du purin et des boues par temps chaud, sec et venteux Dilution du purin Technique d'épandage réduisant les pertes Créer des aides pour la pénétration des engrais liquides (sarclage) Enfouir les engrais contenant des substances volatiles	Appliquer les engrais azotés uniquement lorsque la plante est susceptible de les absorber Réduire les fractions d'engrais lorsque les conditions météorologiques sont défavorables Appliquer les engrais liquides uniquement lorsque le sol a une capacité de rétention suffisante Répartir les engrais de manière précise

Buts

Couvrir les besoins en éléments nutritifs des plantes
 Qualité irréprochable des récoltes
 Fumure minimale pour un rendement conforme au potentiel du site
 Efficacité maximale des fertilisants / Pertes minimales en fertilisants
 Entretien de la fertilité du sol à long terme

dements n'est pas directement proportionnel à la dose d'engrais appliquée, mais toujours plus faible, jusqu'à tendre vers zéro. Une offre trop importante en éléments fertilisants peut entraîner des baisses de rendement et de qualité ainsi que des pertes nuisibles à l'environnement.

L'objectif de la fertilisation consiste à optimiser des récoltes de qualité irréprochable en valorisant au maximum l'efficacité des éléments nutritifs représentant un facteur limitant. En revanche, la fertilisation n'est pas le moyen approprié pour corriger des carences induites par des techniques culturales inadaptées (rotation déséquilibrée, sol compacté par un travail intempestif ou par une récolte dans de mauvaises conditions, semis tardif, variété inadaptée, protection phytosanitaire inadéquate, etc.).

3. NORMES DE FUMURE

Les normes de fumure représentent les besoins en éléments fertilisants des différentes cultures, pour obtenir un bon rendement moyen, sur un sol considéré comme normalement pourvu. Pour les phosphates, la potasse et le magnésium, elles découlent des prélèvements par les plantes; les différences possibles entre prélèvements et normes sont expliquées au chapitre 3.1. Les corrections des normes de fumures phosphatées, potassiques et magnésiennes en fonction des résultats des analyses de terre sont décrites dans le chapitre 6.

La norme de fumure azotée découle des résultats de nombreux essais conduits sur une très large palette de sols et de conditions climatiques. L'adaptation de la fumure azotée, en fonction des caractéristiques spécifiques de la parcelle et d'autres facteurs d'influence, est décrite au chapitre 7.

3.1 Relation entre le prélèvement en éléments et la norme de fumure phosphatée, potassique et magnésienne

La faculté d'absorption des éléments minéraux est différente selon les espèces végétales. Cette caractéristique dépend fortement du type de racine, du volume et de la profondeur d'enracinement. Cela signifie que la teneur optimale en éléments nutritifs, qui est en étroite relation avec la concentration dans la solution du

sol, est différente selon les espèces cultivées. La teneur en potassium du sol est, par exemple, étroitement liée à la capacité d'échange des cations qui elle-même dépend fortement de la teneur en argile du sol. L'exemple de la *figure 3* montre la relation entre la teneur nécessaire en potassium (extrait à l'eau saturée de CO_2) et la capacité d'échange des cations du sol pour parvenir, avec trois cultures différentes, à un rendement optimal sans apport de potassium. De semblables relations sont applicables à d'autres éléments fertilisants (P, Mg).

Pour tenir compte de cette faculté, la teneur optimale du sol en phosphate, potassium et magnésium a été ajustée en fonction des espèces qui ont une capacité d'absorption moyenne à bonne. Le blé et les graminées ont une bonne faculté d'absorption du potassium du sol, permettant une réduction de la norme de fumure par rapport au prélèvement. Les espèces à racines pivotantes, comme la betterave, subissent également une réduction parce qu'elles vont chercher une grande part du potassium dans les couches profondes du sol (en dessous de 30 cm). A l'inverse, pour les plantes qui ont un système racinaire peu développé et/ou une faible capacité d'échange (comme les pommes de terre), la concentration en éléments fertilisants de la solution du sol doit être momentanément renforcée; en conséquence, la norme doit être renforcée par rapport à leur exportation. Dans les prairies, les différences entre prélèvement et norme de fumure, plus ou moins importantes selon l'intensité d'exploitation, servent à maîtriser la composition botanique et à produire un fourrage de bonne qualité. Pour comprendre la relation entre le prélèvement et la norme, il faut d'abord tenir compte du facteur qui se trouve dans le *tableau 1*; ce dernier représente la faculté de prélèvement de chacune des plantes. Il faut également savoir que les valeurs normes ne sont indiquées qu'en quantités arrondies à 5 kilogrammes près.

Tableau 1. Relation entre les prélèvements par les cultures et la norme de fumure pour le phosphate, le potassium et le magnésium, basée sur leur capacité d'absorption des éléments.

Les cultures qui ne figurent pas dans ce tableau ont une norme de fumure qui correspond aux prélèvements en phosphore, potassium et magnésium (facteur = 1,0).

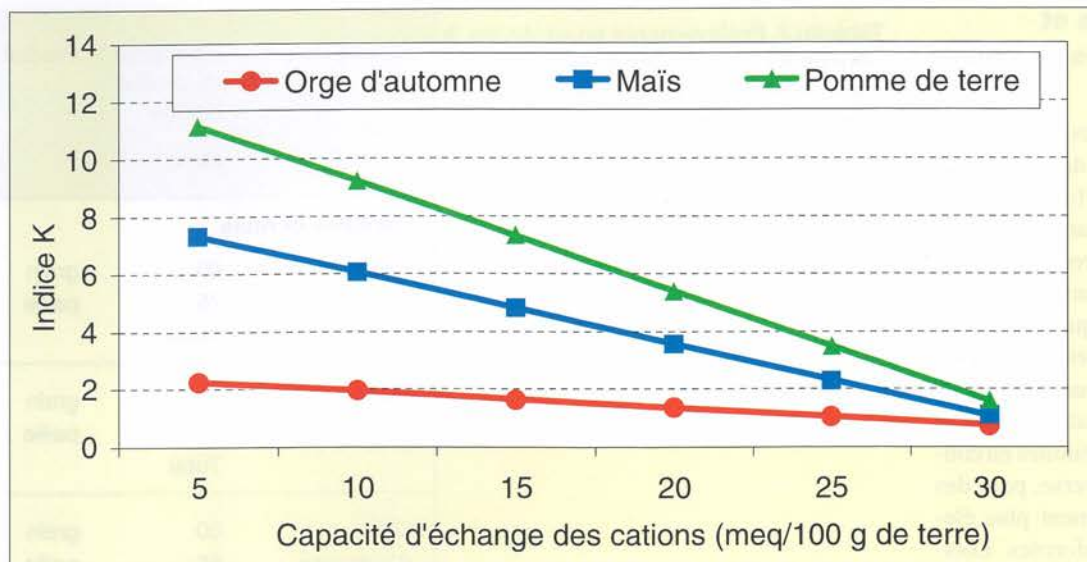


Fig. 3. Indice K minimal (méthode CO_2), avec différentes cultures, pour obtenir un rendement optimal sans apport de potassium en fonction de la capacité d'échange des cations.

Culture	Facteur de relation pour chaque élément		
	P_2O_5	K_2O	Mg
Céréales d'automne	1,0	0,8	1,0
Maïs	1,2	1,0	1,0
Pomme de terre consommation et industrielle	1,2	1,2	1,2
Pomme de terre plant et primeur	1,3	1,2	1,2
Betterave sucrière et fourragère	1,0	0,7	1,0
Roseau de Chine	1,0	0,8	1,0
Légumineuses à graines	1,0	1,2	1,0
Pois de conserve	1,0	1,2	1,0
Chou à choucroute	0,75	0,85	1,0
Chou de Bruxelles	0,75	0,85	1,0
Chicorée - endive	0,85	0,5	0,6
Carotte de garde et industrielle	1,1	0,6	1,0
Oignon planté	1,3	1,2	1,2
Cultures dérobées, maïs vert	1,0	0,7	1,3
Prairie intensive	1,0	0,75	1,2
Prairie mi-intensive	0,93	0,70	1,1
Prairie peu intensive	0,88	0,65	0
Prairie extensive	0	0	0
Pâturage intensif ¹	0,62/0,42	0,30/0,08	0,78/0,78
Pâturage mi-intensif ¹	0,60/0,42	0,27/0,07	0,67/0,67
Pâturage peu intensif	0,55	0,16	0
Pâturage extensif	0	0	0
Production de semences (graminées et légumineuses pures)	0,93	0,70	1,1

¹ Valeurs indiquées pour une pâture avec détention à l'étable (première valeur) ou pour une pâture sans détention à l'étable (seconde valeur); les différentes techniques de pâture sont définies plus précisément dans le chapitre 3.3.

3.2 Grandes cultures et cultures maraîchères de pleine terre

Le niveau de rendement des cultures pris en considération est atteint dans la plupart des exploitations. Toutefois, lorsque, dans certaines régions ou parcelles (zones limites pour grandes cultures, sols superficiels, etc.) ou dans certains types d'exploitation (culture biologique ou d'autres systèmes de production), les rendements sont régulièrement inférieurs de plus de 20%, les normes (phosphate, potasse et magnésium) doivent être réduites en conséquence (*tabl. 2*). A l'inverse, pour des rendements systématiquement plus élevés, les normes seront renforcées. Lorsqu'il s'agit de différences occasionnelles, il n'est pas nécessaire de les prendre en compte. Si une correction de la norme est nécessaire, elle est calculée proportionnellement au rendement régulièrement réalisé.

Tableau 2. Prélèvements en azote, en phosphate, en potasse et en magnésium 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 sous-produit (sans les chaumes ni les racines).

Culture	Rendement du produit récolté dt/ha ¹	Produit	Prélè- vement (kg/ha)
			N
Céréales et maïs			
Blé d'automne ²	60	grain	120
	75	paille	38
	Total		158
Blé de printemps	50	grain	110
	65	paille	33
	Total		143
Orge d'automne	60	grain	90
	65	paille	29
	Total		119
Orge de printemps	45	grain	59
	50	paille	25
	Total		84
Avoine d'automne	55	grain	88
	70	paille	35
	Total		123
Avoine de printemps	55	grain	88
	70	paille	35
	Total		123
Seigle d'automne ²	55	grain	88
	75	paille	38
	Total		126
Epeautre d'automne	50	grain	80
	75	paille	38
	Total		118
Triticale d'automne	60	grain	105
	80	paille	60
	Total		165
Triticale de printemps	55	grain	96
	75	paille	56
	Total		152
Amidonniér, engrain	25	grain	55
	45	paille	18
	Total		73
Maïs grain, CCM	80	grain	104
	95	paille	57
	Total		161
Maïs d'ensilage	160 ³	plante entière	200
Maïs vert	60 ³	plante entière	114

par la récolte			Norme de fumure (kg/ha)			
P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
53 15 68	27 83 110	6 6 12	140	70	90	15
42 11 53	20 72 92	6 3 9				
54 15 69	36 117 153	6 3 9				
36 11 47	27 100 127	5 2 7	90	45	125	10
44 19 63	28 147 175	6 6 12				
44 19 63	28 147 175	6 5 11				
44 19 63	28 90 118	6 8 14	90	65	95	15
40 19 59	25 90 115	6 8 14				
54 20 74	36 100 136	6 6 12				
50 19 69	33 94 127	6 6 12	100	70	125	15
20 13 33	13 41 54	4 3 7				
48 32 80	39 209 248	8 12 20				
96	248	19	110	115	250	20
39	162	6	70	40	115	10

Culture	Rende- dement du produit récolté dt/ha ¹	Produit	Prélèvement par la récolte) (kg/ha				Norme de fumure (kg/ha)			
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
Plantes à tubercules ou à racines										
Pomme de terre de con- sommation et industrielle	450	tubercules	135	68	225	9	120	90	410	20
	180	fanés	25	9	117	6				
	Total	160	77	342	15					
Pomme de terre primeur et plant	250	tubercules	58	38	125	5	100	70	320	20
	200	fanés	66	14	140	11				
	Total	124	52	265	16					
Betterave sucrière	650	racines	137	52	169	21	100	95	330	55
	500	f. et collets	150	43	300	35				
	Total	287	95	469	56					
Betterave fourragère	160 ³	racines	176	80	288	21	100	110	400	55
	400	feuilles	140	32	280	36				
	Total	316	112	568	57					
Oléagineux et plantes destinées à la production de fibres										
Colza d'automne	35	grain	105	56	34	9	140	80	140	20
	65	paille	49	23	104	10				
	Total	154	79	138	19					
Colza de printemps	25	grain	75	40	24	7	120	60	95	15
	45	paille	34	16	72	7				
	Total	109	56	96	14					
Tournesol	30	grain	95	33	25	9	60	50	400	55
	60	paille	54	16	369	45				
	Total	149	49	394	54					
Chanvre oléagineux	13	graine	60	33	14	7	60	55	100	15
	60	paille	54	24	84	9				
	Total	114	57	98	16					
Chanvre à fibre ⁴	100	tiges	30	30	90	5	100	90	200	25
	40	f. et graines	110	60	110	20				
	Total	140	90	200	25					
Lin oléagineux	20	graine	109	24	19	1	80	35	65	5
	25	paille	15	13	45	2				
	Total	124	37	64	3					
Lin à fibre	45	graine	45	32	90	9	60	50	105	10
	15	fibre	82	18	14	1				
	Total	127	50	104	10					
Roseau de Chine	200 ³	plante entière	42	19	112	5	30	20	110	5
Kénaf	50 ³	plante entière	100	60	80	10	70	60	80	10

Tableau 2. suite

Culture	Rendement du produit récolté dt/ha ¹	Produit	Prèlè- vement (kg/ha)
			N
Légumineuses à graines			
Pois protéagineux	50	grain	175
	50	paille	100
	Total		275
Féverole	40	grain	160
	45	paille	135
	Total		295
Soja	25	grain	150
	25	paille	88
	Total		238
Lupin doux	30	grain	165
	30	paille	105
	Total		170
Légumes de pleine terre			
Chou à choucroute	800	chou	136
	400	résidus	56
	Total		192
Chou de Bruxelles	120	chou	78
	140	résidus	126
	Total		204
Chicorée- endive	400	racines	88
	300	résidus	54
	Total		142
Carotte de garde	600	racines	66
	300	résidus	71
	Total		137
Pois de conserve	65	grains	72
	300	résidus	120
	Total		192
Haricots industriels	90	récolte	36
	300	résidus	195
	Total		231
Oignon	500	bulbes	120
	0 ⁵	résidus	0
	Total		120
Epinard	120	feuilles	138
	20	résidus	40
	Total		178

par la récolte			Norme de fumure (kg/ha)			
P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
50 38	60 80	6 11	0	90	170	20
88	140	17				
56 16	56 90	10 15				
72	146	25	0	70	175	25
35 31	48 75	7 16	0	65	150	25
66	123	23				
30 12	41 60	6 12				
42	101	18	0	40	120	20
60 20	200 96	24 14	200	60	250	40
80	296	38				
23 56	60 196	10 18				
79	256	28	160	60	220	30
48 11	184 108	28 20	0	50	150	30
59	292	48				
36 20	222 156	9 9				
56	378	18	120	60	220	30
20 33	26 150	3 15	0	55	210	20
53	176	18				
10 30	28 123	2 5				
40	151	7	0	40	150	10
45 0	165 0	25 0	100	60	200	30
45	165	25				
25 6	94 48	16 6				
31	142	22	140	30	140	20

Culture	Rende- ment du produit récolté dt/ha ¹	Produit	Prélèvement par la récolte (kg/ha)				Norme de fumure (kg/ha)			
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
Engrais verts et cultures dérobées										
Engrais vert (légumineuse)	25 ³		70	25	90	5	0	0	0	0
Engrais vert (non légumineuse)	25 ³		70	25	90	5	30 ⁶	0	0	0
Dérobées (par utilisation)	25 ³		70	25	90	5	30	20	60	10
Autres cultures										
Tabac Burley	25 ³	feuilles troncs	75	18	125	7				
	69		22	135	6					
	Total		144	40	260	13				
Tabac Virginie	25 ³	feuilles troncs	63	14	119	5				
	25 ³		25	21	125	10				
	Total		88	35	244	15				
Cultures ne figurant pas dans la liste							80 ⁷	60	120	10

¹ Avec une teneur en eau moyenne à la récolte.

² Ces données sont valables pour des céréales panifiables ou certaines populations de seigle d'hiver. Pour le blé fourrager et les hybrides de seigle d'hiver à rendements nettement plus élevés, il faut augmenter la norme N, P, K et Mg de 20% environ.

³ Rendement en matière sèche.

⁴ Selon le moment et la technique, on récolte la plante entière ou seulement la tige.

⁵ Après séchage sur le champ, la plante entière est récoltée.

⁶ Comme fumure starter pour améliorer le pouvoir concurrentiel.

⁷ Seulement pour les non légumineuses; les légumineuses ne reçoivent pas de fumure N.

3.3 Herbages

Les prairies et les pâturages sont des communautés végétales formées de nombreuses espèces de valeur agronomique 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 se distinguent par leurs exigences 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 être impérativement adapté à l'intensité d'utilisation (fig. 4) et tenir compte des conditions naturelles. Lorsque celles-ci sont peu favorables aux bonnes plantes fourragères (exemple: 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 de la fumure des autres cultures par le fait que l'on tient compte non seulement des prélèvements par les plantes et du niveau de fertilité du sol, mais aussi de la composition botanique et, dans une certaine mesure, des teneurs en minéraux dans le fourrage. D'autre part, les prairies et les pâturages sont fertilisés principalement avec des engrais de ferme qui contiennent une bonne partie des éléments fertilisants 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 peut prendre plusieurs années.

Le tableau 3 indique les prélèvements et les normes de fumure en azote, phosphate, potasse et magnésium pour les prairies et les pâturages selon l'intensité d'exploitation. Les indications qu'il donne sont valables aussi bien pour les prairies permanentes que pour les prairies temporaires. Bien choisir l'intensité d'exploitation est essentiel. Il faut tenir compte des conditions naturelles, de la composition botanique, en particulier des graminées

Tableau 3. Prélèvements annuels en azote, phosphate, potasse et magnésium et normes de fumure pour les prairies et les pâturages, selon l'intensité d'exploitation et l'altitude

Ces normes sont valables pour les prairies permanentes et temporaires.

dominantes, du stade d'utilisation 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 le tableau 59 en annexe). Pour un même rendement, une prairie intensive, utilisée fréquemment, prélève donc plus d'éléments nutritifs qu'une prairie exploitée de façon moins intensive et les normes de fumure sont plus élevées. Divers documents édités par l'ADCF et le SRVA facilitent la reconnaissance des principaux types de prairie et de pâturage.

Les prélèvements et les normes de fumure donnés dans le tableau 3 sont valables pour les rendements indiqués. Ces derniers diminuent avec l'altitude (durée de la période 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. 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 et ne tiennent pas compte des conditions spécifiques à chaque exploitation. Il est donc recommandé de les vérifier au niveau de 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:

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

Intensité d'exploitation Nombre d'utilisations par année ²	Altitude ¹ (m)	Rendement annuel ³ (dt MS/ha)
PRAIRIE		
intensive^{8,9}		
- 5-6 utilisations ¹⁰	< 600	135
- 5 utilisations	< 700	115
- 4 utilisations	600-1100	100
- 3 utilisations	1000-1500	80
- 2 utilisations	> 1400	55
mi-intensive^{8,9}		
- 4 utilisations	< 700	100
- 3 utilisations	600-1100	75
- 2 utilisations	1000-1500	50
- 1-2 utilisations	> 1400	35
peu intensive⁸ (prairie à faner riche en espèces)		
- 3 utilisations	< 700	65
- 2 utilisations	600-1100	50
- 1-2 utilisations	1000-1500	35
- 1 utilisation	> 1400	25
extensive (prairie maigre, pré à litière)		
- 1 utilisation	-	10-30
DÉROBÉE, SEMIS D'AOUT DE PRAIRIE TEMPORAIRE		
par utilisation		25
PRODUCTION DE SEMENCES		
- légumineuses pures		120
- graminées pures		120
PATURAGE¹¹		
intensif^{13,14} (> 3 UGB/ha/saison de pâture)¹²		
- 5-7 rotations	< 700	100
- 4-6 rotations	600-1100	85
- 3-5 rotations	1000-1500	70
mi-intensif¹³ (2-3 UGB/ha/saison de pâture)¹²		
- 4-5 rotations	< 700	85
- 3-4 rotations	600-1100	65
- 2-3 rotations	1000-1500	40
- 1-3 rotations	> 1400	30
peu intensif (1-2 UGB/ha/saison de pâture)¹²		
- 2-4 rotations	< 700	50
- 2-3 rotations	600-1100	40
- 1-3 rotations	1000-1500	30
- 1-2 rotations	> 1400	20
extensif (< 1,0 UGB/ha/saison de pâture)¹²		
- 1-2 rotations	-	10-25

Prélèvements ⁴ (kg/ha)				Normes de fumure kg/dt MS (kg/ha)			
N	P ₂ O ₅	K ₂ O ⁵	Mg	N ⁶	P ₂ O ₅	K ₂ O ⁷	Mg
330	108	430	34	1,0-1,3	0,8	2,4	0,3
280	92	370	29	150-180	110	325	40
245	80	320	25	130-150	90	275	35
195	64	255	20	100-130	80	240	30
135	44	175	14	70-100	65	190	25
				50-70	45	130	15
195	75	270	23	0,8-1,1	0,7	1,9	0,25
145	56	205	17	80-110	70	190	25
100	38	135	12	60-80	50	145	20
70	26	95	8	40-60	35	95	15
				30-40	25	65	10
105	44	145	14	0,4-0,7	0,6	1,5	0
80	34	115	11	25-40	40	95	0
55	24	80	7	20-30	30	75	0
40	17	55	5	15-25	20	50	0
				10-20	15	35	0
15-40	5-20	20-60	2-6	0	0	0	0
				0	0	0	0
70	25	90	5	0,7-1,2	0,8	2,4	0,4
				30	20	60	10
360	84	330	23	0-1,9	0,7	1,9	0,25
228	90	318	26	0	80	230	25
				170-230	85	225	30
270	85	355	25	1,0-1,4	0,53/0,37	1,06/0,32	0,20/0,20
230	72	300	21	100-140	55/35	105/30	20/20
190	60	250	18	80-120	45/30	90/25	15/15
				60-100	35/25	75/20	15/15
185	68	260	20	0,7-1,0	0,48/0,33	0,80/0,24	0,15/0,15
140	52	200	15	60-75	40/30	65/20	15/15
90	32	120	9	45-60	30/20	50/15	10/10
65	24	90	7	30-45	20/15	35/10	5/5
				15-30	15/10	25/5	5/5
90	36	130	11	0	0,4	0,4	0
70	29	100	8	0	20	20	0
50	22	75	6	0	15	15	0
35	15	50	4	0	10	10	0
				0	10	10	0
15-40	5-15	25-55	2-5	0	0	0	0
				0	0	0	0

¹ 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.

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

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, par contre les pertes de conservation (au silo, au séchoir ou au tas) ne le sont pas.

⁴ Il s'agit d'un prélèvement moyen, calculé à partir du rendement effectif et de la valeur médiane indiquée par le tableau 59; ce prélèvement peut en réalité varier considérablement; pour un pâturage, ce prélèvement correspond à la quantité moyenne d'éléments fertilisants consommés par les animaux.

⁵ Les prélèvements en potasse sont nettement supérieurs à la norme de fumure car de nombreuses exploitations ont trop de potasse dans leur cycle des éléments nutritifs; cette situation indésirable est due essentiellement à des apports antérieurs trop élevés.

⁶ Les apports d'azote aux prairies et aux pâturages sont effectués à chaque utilisation, conformément aux indications du tableau 31; la norme azote indiquée ici n'est pas valable pour les mélanges à base de luzerne (type L) et de trèfle violet (type M) qui ne reçoivent en principe pas d'azote.

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

⁸ En cas de fauche-pâturage, il faut déduire des normes de fumure pour prairie les restitutions par la pâture indiquées dans le tableau 4.

⁹ Pour ce qui concerne les phosphates, la potasse et le magnésium, les mélanges à base de luzerne (type L) et de trèfle violet (type M) sont fertilisés selon les normes pour la prairie intensive, bien que la fréquence des coupes 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 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 des pâturages mi-intensifs et intensifs sont indiquées pour une pâture avec détention à l'étable (première valeur) et pour une pâture sans détention à l'étable (seconde valeur).

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

La charge instantanée est égale au nombre d'UGB par ha qui pâturent en même temps sur le pâturage. La durée de la pâture est égale 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 16 à 17 kg MS. En moyenne, le calcul s'effectue avec 15 kg MS par UGB et par jour.

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

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

l'azote: les normes 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 sont inférieures aux prélèvements car la teneur réelle des herbages (en moyenne suisse 30 g K/kg MS) dépasse très souvent la teneur souhaitée (au 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 disponibilité 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 de la potasse; *les prairies extensives et peu intensives*: pour préserver la diversité botanique de ces prairies, les apports d'engrais doivent être faibles, inférieurs aux prélèvements. Les éléments fertilisants manquants sont pris dans les réserves du sol;

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

Dans les normes pour les pâturages (aucune fauche) indiquées dans le tableau 3, les restitutions en éléments fertilisants pendant la pâture sont donc déjà prises en compte. Celles-ci dépendent de la technique de pâture, en particulier de la durée journalière de pâture 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. La première valeur est valable pour les systèmes de **pâturage 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 est valable pour une **pâturage 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; on parle aussi dans ce cas de pâture intégrale). En cas de pâture sans détention à l'étable, la majeure partie des éléments fertilisants ingérés par les animaux est excrétée sur le pâturage et les exportations sont faibles. Les normes de fumure 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 qui ne sont pas prioritairement destinés à l'affouragement du bétail (par ex. surface en libre accès attenante à l'étable) ne doivent pas être fertilisés car les quantités importantes d'éléments fertilisants apportés par les déjections suffisent à couvrir les besoins des plantes.

Pour les prairies occasionnellement pâturées (fauche-pâture), on déduit de la norme pour prairie de fauche les restitutions dues à la pâture. On parle de restitutions pour désigner 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 100 UGB jours/ha pour une consommation journalière de 15 kg MS/UGB/jour). Le *tableau 4* indique les restitutions par la pâture en

Tableau 4. Restitutions en phosphate, potasse et magnésium à déduire des normes de fumure en cas de pâture d'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 100 UGB jours/ha.

Fig. 4. Intensité de l'exploitation fourragère selon l'utilisation et la fumure (en particulier la fumure azotée).

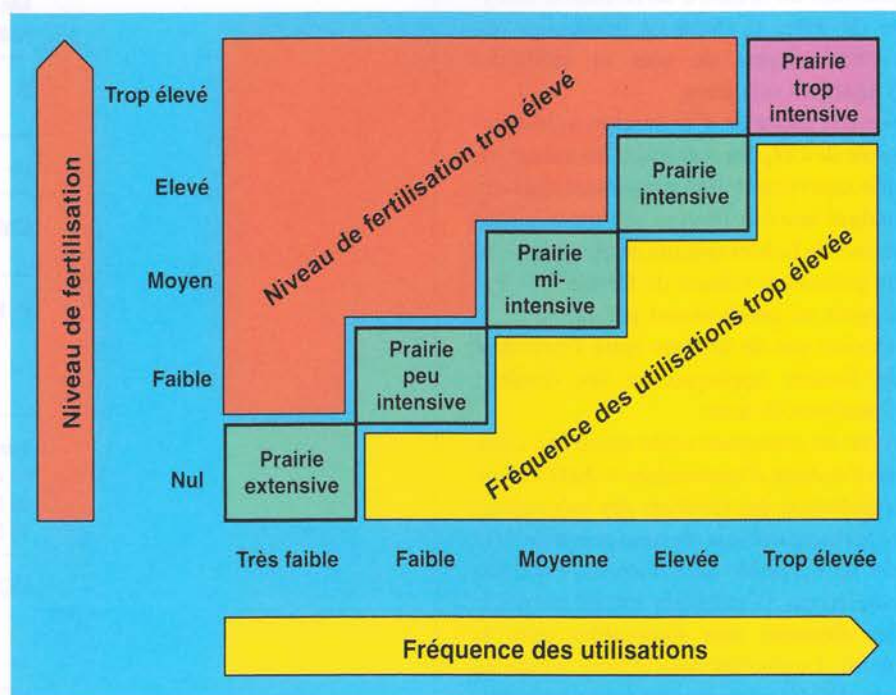
phosphate, potasse et magnésium, selon l'intensité d'exploitation et la technique de pâture.

Intensité d'exploitation	Système de pâture ¹	Quantité à déduire par pâture ²			
		kg/ha N ³	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
intensive	pâture avec détention à l'étable	-	5,5	27	2,0
	pâture sans détention à l'étable	-	8,5	43	3,0
mi-intensive	pâture avec détention à l'étable	-	4,5	23	1,5
	pâture sans détention à l'étable	-	6,5	32	2,0
peu intensive	tous les systèmes	-	4,0	20	-

¹ Les différentes techniques de pâture sont définies plus précisément dans le texte, chapitre 3.3.

² La dernière pâture en automne est prise en compte 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 par utilisation (voir tabl. 31).



FAITES DES ECONOMIES AVEC LA CHAUX DES SUCRERIES

CHAUX D'AARBERG

Une tonne contient: 540 kg de calcaire (CaCO₃), 10 kg d'acide phosphorique (P₂O₅), 6 kg de magnésium (Mg), 100 kg de matière organique

RICOTER

Préparation de Terres S.A.

3270 Aarberg • Tél. 032/391 63 00 • Fax 032/391 62 34

Conseils techniques: Centre betteravier suisse

Bureau régional, Granges-Verney • 1510 Moudon • ☎ 021/995 34 04



Départ usine fr. 11.—/t
Livraison franco valable
pour toute la Suisse fr. 19.50/t
quantité minimale 18 t + 2,4% TVA

Le chaulage provenant des sucreries

- stabilise la structure du sol
- améliore la pénétration de l'eau et l'aération du sol
- diminue le risque de battance et de formation de croûte
- maintient ou augmente le pH
- stimule l'activité biologique du sol
- favorise la disponibilité des éléments fertilisants
- assure la fertilité du sol
- atténue le risque de pied noir chez les betteraves

4. ANALYSE DE SOL ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Pour optimiser la fumure, il est nécessaire de prendre en considération, en plus du besoin des plantes, différentes caractéristiques de fertilité 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). Le but de ces analyses est double puisque le résultat sert à contrôler l'effet des fumures antérieures et à optimiser 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 mise en regard 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 dans lesquelles elles sont effectuées 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 pour les grandes cultures sont résumées dans le *tableau 5*. Toutes ces méthodes ont été étalonnées à l'aide de nombreux résultats d'essais de plein champ durant des décennies.

La teneur en argile du sol est déterminante pour l'interprétation des résultats d'analyses du P_2O_5 , du K_2O et du Mg. L'élément important en fait est la capacité d'échange des cations qui renseigne sur la grandeur du réservoir sol (capacité). Le taux d'argile est reconnu comme ayant une étroite relation avec la capacité d'échange des cations. Si la granulométrie n'est pas déterminée, il est nécessaire d'estimer la texture du sol, en particulier la proportion d'argile, par test tactile. Afin de ne pas surestimer le taux d'argile déterminé dans les sols humifères, les fractions granulométriques des sols ayant plus de 10% de matière organique sont calculées par rapport à la terre fine (voir *tabl. 5*). Dans ces sols, le taux de matière organique est également pris en compte pour interpréter les teneurs en éléments fertilisants.

L'adaptation de la norme de fumure à la richesse du sol est réalisée par un facteur

Tableau 5. Description des principales méthodes d'analyses de sol utilisées par les stations de recherches agronomiques suisses pour optimiser la fertilisation.

de correction (voir *tabl. 12 à 15*). Les niveaux de fertilité du sol pour le phosphore, le potassium et le magnésium sont répartis en 5 classes en relation avec les facteurs de corrections (*tabl. 6*).

Pour certains types de sols, il est difficile d'apprécier le niveau d'approvisionnement en phosphore, potassium et/ou magnésium sur la base d'un résultat d'analyse de terre. Il s'agit en particulier des caractéristiques de sols et méthodes d'analyses suivantes.

Avec la méthode d'extraction à l'eau saturée de CO_2 , les sols ayant un *taux d'argile supérieur à 40%* présentent souvent, malgré une fertilisation renforcée à long terme, de faibles teneurs en phosphore et/ou potassium (classe de fertilité A). 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 un extractant acide assez fort comme l'acétate d'ammonium + EDTA, l'interprétation des résultats des *sols calcaires* principalement, et aussi *partiellement des sols à faible taux d'argile*, n'est pas assurée car la méthode extrait en partie des éléments non disponibles pour la plante. Le résultat ainsi obtenu simule un taux d'élément fertilisant assimilable trop élevé.

Dans ces cas particuliers, il convient de choisir des méthodes d'extraction plus appropriées à ces types de sols. Dans certaines circonstances, 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. Pour ces cas, il est utile de prendre contact avec les stations de recherches agronomiques, afin de s'assurer de la meilleure interprétation possible en fonction des connaissances du moment.

La teneur en matière organique des sols (humus) est appréciée selon 5 classes. Cette teneur peut être appréciée pour ses caractéristiques chimico-physiques (pédologie) ou selon son influence sur la dynamique de l'azote du sol (agronomie) (voir *tabl. 7*).

Prélèvement des échantillons	Préparation de l'échantillon	Element dosé
Moment	Prof. (cm)	
Intervalle entre la récolte de la dernière culture et la fumure de la suivante	0-10 en prairie permanente et 0-20 en terre assolée	Séchage à l'air à 40 °C et tamisage à 2 mm
		P
		K
		Mg
		Mn (échangeable)
		Mn (facilement réductible)
		B
		H ⁺
		CaCO ₃
		P, K, Mg
		Texture ¹
		% Argile
		% Silt
		% Sable
		MO ¹
		MO
		Argile
		Silt
		CEC
		K ⁺ , Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺
		H ⁺
		CEC
		K ⁺ , Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺
		H ⁺
		Taux de saturation
Juste avant l'apport d'engrais (print., mai, juin)	0-90 cm (0-30, 30-60, 60-90)	frais (froid) tamisé (10 mm)
		NO ₃ -N + NH ₄ -N

Solution d'extraction	Rapport terre et solution d'extraction	Temps d'agitation d'extraction	Unité de mesures des résultats	Définition des résultats
H ₂ O saturé de CO ₂	1 : 2,5	1 h	indice	indice 1 = 0,0356 mg P ₂ O ₅ / 100 g de terre
H ₂ O saturé de CO ₂	1 : 2,5	1 h	indice	indice 1 = 1 mg K ₂ O / 100 g de terre
0,0125-n CaCl ₂	1 : 10	2 h	indice	indice 1 = 1 mg Mg/100 g de terre
1-M acétate d'ammonium	1 : 10	30 min.	ppm	mg / kg de terre
1-M acétate d'ammonium + hydroquinone	1 : 10	30 min.	ppm	mg / kg de terre
eau chaude	1 : 5	5 min. 1 ^{re} goutte condensation	ppm	mg / kg de terre
eau dist.	1 : 2,5	12 h	pH	
HCl conc., dil, 1:1			%	g CaCO ₃ / 100 g de terre
0,5 M acétate d'ammonium 0,5 M acide acétique + 0,025 M EDTA	1 : 10	1 h	ppm	mg/kg de terre
sédimentation			%	g / 100 g de terre
sédimentation			%	g / 100 g de terre
calcul			%	g / 100 g de terre
combustion par voie humide avec du K ₂ Cr ₂ O ₇ et titration			% C org.	% MO = % C org. x 1,72
Test tactile			% % %	
capacité d'échange cationique pour les sols à pH _(H₂O) < 6,0				
0,05 M HCl + 0,0125 M H ₂ SO ₄	1 : 4	5 min.	mé	CEC = mé (H ⁺ + K ⁺ + Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ + Na ⁺) par 100 g de terre
Différence pH	1 : 1		mé	
capacité d'échange cationique pour les sols à pH _(H₂O) > 5,9				
0,1 M chlorure de barium + 2 M triéthanolamine	1 : 25	laisser 15 h. à 45°C, puis agiter 1 h.	mé	CEC = mé (H ⁺ + K ⁺ + Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ + Na ⁺) par 100 g de terre
Titration			mé	
			%	S = mé (K ⁺ + Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ + Na ⁺) • 100 / CEC
0,0125 M CaCl ₂	1 : 4	1 h.	kg N par ha	

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

L'acidité ou l'alcalinité des sols est caractérisée par le pH, elle est divisée en 6 classes (tabl. 8). Il est souvent utile de compléter cette dernière valeur par une appréciation du taux de saturation de la capacité d'échange des cations (tabl. 9), en particulier lorsque le sol est acide et qu'il y a lieu d'envisager un chaulage. La connaissance du pH est utile pour faciliter le choix des engrais (en particulier pour les phosphates).

L'analyse de la teneur en bore du sol est conseillée lorsqu'on désire installer une culture exigeante (betterave, colza, choux, etc.) dans un sol où il y a un risque de carence: sols sableux, acides, sols graveleux, sols alcalins et ceux sur lesquels un chaulage a été appliqué dans le courant de la dernière année. L'analyse du manganèse du sol est plus rarement indispensable. Elle peut toutefois s'avérer utile pour des sols à pH neutre à alcalin ayant un taux de matière organique supérieur à 8%. L'interprétation des résultats des analyses de bore et de manganèse se trouve dans le tableau 10.

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 sont traités au chapitre 7. La méthode $N_{\min}$ peut rendre de précieux services pour contribuer à l'analyse de problèmes écologiques. En revanche, elle n'est pas adaptée pour juger, après la fumure ou après la récolte, de l'opportunité d'une fertilisation azotée antérieure.

5. ANALYSES DE PLANTES

En plus de l'analyse de sol, il est possible de recourir à l'analyse de plantes durant la période de végétation. Cette technique fait partie des moyens complémentaires à disposition pour résoudre un problème lié à la fertilisation.

En culture fourragère, il est souvent judicieux de tenir compte, en plus des analyses de terre, des résultats des analyses de fourrage ainsi que de l'état de la culture et de sa composition botanique pour définir la fumure. Lorsque la teneur en potassium du sol est suboptimale (facteur de correction supérieur à 1), il est conseillé de tenir compte de la teneur en potassium du fourrage pour définir la fumure potassique

Tableau 6. Appréciation du niveau de fertilité du sol selon le facteur de correction de la norme.

Facteur de correction
> 1,4
1,2 - 1,4
0,9 - 1,1
0,2 - 0,8
< 0,2

Tableau 7. Interprétation pédologique et agronomique du taux (%) de matière organique du sol selon sa teneur en argile.

Le taux de matière organique du sol est calculé à partir du taux de carbone (C).
 $MO = C \times 1,725$.

Qualification pédologique relative au type de sol (physique et chimique)	
Taux de matière organique %	Qualification du sol
< 2	pauvre en humus
2 - 5	faiblement humifère
5 - 10	humifère
10 - 20	riche en humus
> 20	tourbeux

Tableau 8. Appréciation du pH du sol et besoin du sol en chaux.

pH(H_2O)	Appréciation
< 5,3	fortement acide
5,3 - 5,8	acide
5,9 - 6,7	faiblement acide
6,8 - 7,2	neutre
7,3 - 7,6	faiblement alcalin
> 7,6	alcalin

Tableau 9. Appréciation de l'état calcique du sol sur la base du taux de saturation de la capacité d'échange des cations.

Taux de saturation (%)	
Terre assolée	Prairie permanente
< 40	< 30
40 - 49	30 - 39
50 - 59	40 - 49
60 - 80	50 - 80
> 80	> 80

Tableau 10. Appréciation des résultats d'analyses de bore et de manganèse du sol.

Bore	
Teneur du sol (ppm)	Appréciation
< 0,6	pauvre
0,6 - 1,5	médiocre
1,6 - 2,0	satisfaisant
2,1 - 5,0	riche
> 5,0	très riche

Appréciation	Classe de fertilité
Pauvre	A
Médiocre	B
Satisfaisant	C
Riche	D
Très riche	E

Interprétation agronomique (concerne surtout la dynamique de l'azote)			
Taux d'argile du sol (%)			Appréciation
< 15 Argile	15 - 30 Argile	> 30 Argile	
< 1,2	< 1,8	< 2,5	faible / pauvre
1,2 - 3,0	1,8 - 4,0	2,5 - 6,0	satisfaisant / normal
3,0 - 7,0	4,0 - 8,0	6,0 - 10,0	riche / élevé
7,0 - 20,0	8,0 - 20,0	10,0 - 20,0	très riche / très élevé
> 20,0	> 20,0	> 20,0	tourbeux

Test HCl	Chaulage ¹
-	nécessaire
-	nécessaire
-	d'entretien
+/-	d'entretien
+	inutile
+	inutile

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

Appréciation de l'état calcique	Richesse
très faible	A
faible	A
médiocre	B
satisfaisant	C
riche	D

Manganèse				
Classe de fertilité	Teneur du sol (ppm)		Appréciation	Classe de fertilité
	Echangeable	Facilement réductible		
A	< 2	< 50	pauvre	A
B	< 2	> 50	pauvre	A
C	> 2	< 50	médiocre	B
D	> 2	> 50	satisfaisant	C
E				

(voir tabl. 14). Les analyses de fourrage permettent également de corriger les normes du potassium excrété par les animaux consommant du fourrage grossier (voir note 5 du tabl. 41), ainsi que la teneur en potassium des engrais de ferme produits (voir note 7 du tabl. 44).

En grandes cultures, l'analyse de plantes peut être utilisée pour résoudre les problèmes de fumure importants. Les résultats d'analyses de plantes indiquent la teneur de la plante ou d'une partie de celle-ci au moment du prélèvement. L'interprétation des résultats consiste à les comparer à des valeurs provenant soit de la littérature spécialisée, soit d'échantillons issus de cultures de référence. Les résultats d'analyses foliaires sont une résultante des conditions de nutrition et de prélèvement et, par conséquent, ne renseignent pas sur les causes de la malnutrition de la culture. L'analyse des plantes permet tout de même d'apprécier l'effet de dispositions de fumure récentes.

L'analyse de matériel végétal (plantes entières, tiges, feuilles, pétioles, etc.) permet de vérifier l'effet à court terme des corrections de fumure effectuées. Il faut savoir que le matériel végétal est sujet à d'importantes variations dans les teneurs en éléments minéraux (suivant le stade phénologique, les conditions climatiques et de croissance qui précèdent le prélèvement, voire même le moment du prélèvement dans la journée). Les résultats d'analyses de végétaux ne peuvent pas être utilisés seuls pour établir les corrections d'un plan de fumure.

6. FUMURE PHOSPHATÉE, POTASSIQUE ET MAGNÉSIE

Dans le cas de sols considérés comme de richesse satisfaisante, la norme de fumure pour P_2O_5 , K_2O et Mg peut être appliquée sans correction pour les cultures qui atteignent le niveau de rendement défini. Lors de l'élaboration de ces normes de fumure (tabl. 2 et 3), d'autres facteurs que le prélèvement d'éléments fertilisants par les cultures ont été pris en compte (chap. 3.1 et 3.3). Les corrections de la norme de fumure en fonction des résultats d'analyse de sol sont effectuées au moyen de facteurs de correction (chap. 6.1 à 6.3). La détermination du phosphore, du potassium et du magnésium peut être réalisée selon deux systèmes différents. On peut d'une part extraire ces éléments par l'acétate d'ammonium + EDTA, méthode

«agressive», ou alors encore utiliser les méthodes d'extraction «douce» en vigueur jusqu'à ce jour (eau saturée de CO_2). Dans le premier cas, on part du principe que les éléments extraits sont disponibles à long terme pour la plante. Avec les extractants «doux», ce sont principalement les éléments solubles, rapidement disponibles pour la plante qui sont révélés. Les deux approches ont des avantages et des inconvénients. Cela signifie que, pour la diversité des sols existant en Suisse, chaque méthode est plus ou moins appropriée pour gérer un conseil de fumure conforme aux besoins de la culture et de l'écologie.

Lors de la détermination du facteur de correction de la norme de fumure, il faut tenir compte à la fois des teneurs en éléments fertilisants, du taux d'argile (tabl. 13 à 19) ainsi que de la teneur en matière organique du sol (tabl. 11).

6.1 Correction de la norme de fumure phosphatée, potassique et magnésienne à partir de l'extrait à l'acétate d'ammonium + EDTA

En règle générale, l'interprétation des résultats d'analyse de terre est basée sur des essais de plein champ effectués à long terme sur différents sites. La relation entre les teneurs du sol et celles de la plante ainsi que la réaction de la plante à la fumure sont des critères déterminants pour une interprétation fiable des résul-

Tableau 11. Procédure permettant d'obtenir les facteurs de correction de la norme de fumure pour des sols contenant plus de 20% de matière organique.

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

Tableau 12. Ecart entre les facteurs de corrections obtenus par la méthode à l'acétate d'ammonium + EDTA et par les méthodes CO_2 ou $CaCl_2$.

Teneur en matière organique (%)	Teneur en argile de la terre fine (%)	Utiliser les colonnes avec les taux d'argile ci-dessous pour les facteurs de correction des tabl. 13 à 19 (au lieu du taux d'argile effectif)
10 - 20 20 - 40 Plus de 40	moins de 30 moins de 30 -	10 - 15 % argile 5 - 10 % argile 5 - 10 % argile
-	plus de 30	teneur en argile réelle

Element	Sol	Nombre	Ecart entre les facteurs de corrections (proportion d'échantillon en %)		
			plus de -0,2	0 ± 0,2	plus de +0,2
P	Tous	1390	14	70	16
	Argile < 10 %	61	22	66	12
	Argile 10-30 %	1162	13	72	15
	Argile > 30 %	167	17	63	20
	pH < 6,8	293	5	80	15
	pH 6,8-7,2	175	20	70	10
	pH > 7,2	495	18	65	17
K	Tous	1390	9	80	11
	Argile < 10 %	61	41	59	0
	Argile 10-30 %	1162	7	82	11
	Argile > 30 %	167	1	82	17
	pH < 6,8	293	15	81	4
	pH 6,8-7,2	175	6	85	9
	pH > 7,2	495	3	76	21
Mg	Tous	1390	22	73	5
	Argile < 10 %	61	22	71	7
	Argile 10-30 %	1162	19	76	5
	Argile > 30 %	167	38	60	2
	pH < 6,8	293	2	96	2
	pH 6,8-7,2	175	6	86	8
	pH > 7,2	495	57	41	2



EN 45001 / STS 213

SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST
SERVICE SUISSE D'ESSAI
SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA
SWISS TESTING SERVICE

*Son laboratoire accrédité et ses ingénieurs sont à votre service
pour toutes vos analyses et pour des conseils de fumure personnalisés*

SOL-CONSEIL • Changins • Case postale 188 • 1260 Nyon 1
Tél. 022/363 43 04 • Fax 022/363 45 17 • E-mail: sol.conseil@rac.admin.ch

tats d'analyses de terre. En ce qui concerne la méthode d'extraction à l'acétate d'ammonium + EDTA, ces mises en valeurs sont très avancées. Il n'est toutefois pas possible d'en obtenir des facteurs de correction conformes. En conséquence, les facteurs de correction présentés pour cette méthode sont basés sur une comparaison avec les résultats obtenus par la méthode CO₂ (P, K) ou la méthode CaCl₂ (Mg). Environ 1300 parcelles de grandes cultures et quelques parcelles de prairies de toute la Suisse ont été utilisées. L'interprétation qui en découle est donc avant tout basée sur les grandes cultures. Quelques mesures ponctuelles en production fourragère montrent que le conseil de fumure à partir de la méthode à l'acétate d'ammonium + EDTA comporte encore quelques incertitudes. De ce fait, pour le conseil de fumure des parcelles de prairies, on recommande plutôt d'utiliser la méthode CO₂.

La correspondance entre l'interprétation des résultats des deux méthodes dépend fortement des caractéristiques du sol, du fait des différences importantes observées dans les propriétés des solutions d'extraction (tabl. 12). Pour les phosphates, les plus grandes variations sont enregistrées dans les sols lourds et calcaires (pH > 7,2; argile > 30%). Pour le magnésium, les plus grandes différences entre les deux solutions d'extraction proviennent des sols fortement calcaires (pH > 7,6). Même un traitement spécial de ces deux catégories de sols ne permet pas d'améliorer la concordance entre les méthodes. L'élimination de ces données permet par contre d'obtenir une concordance satisfaisante, c'est-à-dire une majorité de cas avec un conseil de fumure semblable. Lorsque, dans un cas particulier, une différence importante dans le conseil de fumure apparaît, il est recommandé de tenir compte des résultats d'analyses et des pratiques de fumure antérieures.

L'adaptation de la norme de fumure à la richesse en élément fertilisant de chaque parcelle s'effectue à l'aide des facteurs de correction des tableaux 13 à 15. Pour obtenir ces facteurs, on prend en compte la richesse en P, K et Mg ainsi que la teneur en argile du sol. Pour les sols qui ont plus de 10% de matière organique, il faut tenir compte des données du tableau 11. Les facteurs de corrections obtenus doivent être utilisés pour la fumure de chaque culture jusqu'à la prochaine analyse de terre.

Tableau 13. Facteur de correction de la norme de fumure phosphatée en relation avec la teneur en P (acétate d'ammonium + EDTA) et en argile du sol, pour les sols qui ont moins de 10% de MO, ceux qui ont moins de 30% d'argile et les sols décalcarifiés ayant plus de 30% d'argile.

Pour les sols calcaires (pH > 7,2) avec un taux d'argile > 30%, l'utilisation de la méthode CO₂ est conseillée. Pour les prairies peu intensives, le facteur de correction maximal est de 1,0.

AAE10-P (mg P/kg)		
	0-4,9	5-9,9
0 - 9,9	1,5	1,5
10 - 14,9	1,5	1,5
15 - 19,9	1,5	1,4
20 - 24,9	1,4	1,4
25 - 29,9	1,4	1,4
30 - 34,9	1,4	1,3
35 - 39,9	1,3	1,3
40 - 44,9	1,3	1,3
45 - 49,9	1,3	1,2
50 - 54,9	1,2	1,2
55 - 59,9	1,2	1,2
60 - 64,9	1,2	1,0
65 - 69,9	1,0	1,0
70 - 74,9	1,0	1,0
75 - 79,9	1,0	1,0
80 - 84,9	1,0	1,0
85 - 89,9	1,0	0,8
90 - 94,9	0,8	0,8
95 - 99,9	0,8	0,6
100 - 104,9	0,6	0,6
105 - 109,9	0,6	0,4
110 - 114,9	0,4	0,4
115 - 119,9	0,4	0,2
120 - 124,9	0,2	0,2
125 - 129,9	0,2	0
≥ 130	0	

Tableau 14. Facteur de correction de la norme de fumure potassique en relation avec la teneur en K (acétate d'ammonium + EDTA) et en argile du sol pour les sols ayant moins de 10% de matière organique.

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 supérieur à 25 g K/kg MS, il ne faut pas dépasser le facteur de correction de 1,0.

AAE10-K (mg K/kg)		
	0-4,9	5-9,9
0 - 39,9	1,4	1,4
40 - 59,9	1,4	1,4
60 - 79,9	1,3	1,3
80 - 99,9	1,3	1,3
100 - 119,9	1,2	1,2
120 - 139,9	1,2	1,2
140 - 159,9	1,0	1,0
160 - 179,9	1,0	1,0
180 - 199,9	1,0	1,0
200 - 219,9	1,0	1,0
220 - 239,9	0,8	0,8
240 - 259,9	0,8	0,8
260 - 279,9	0,8	0,8
280 - 299,9	0,6	0,6
300 - 319,9	0,6	0,6
320 - 339,9	0,6	0,6
340 - 359,9	0,4	0,4
360 - 379,9	0,4	0,4
380 - 399,9	0,2	0,2
400 - 419,9	0,2	0,2
≥ 420	0	0

Teneur en argile du sol (%)							
10-14,9	15-19,9	20-24,9	25-29,9	30-34,9	35-39,9	40-44,9	≥ 45
1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3
1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3
1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3
1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2
1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2
1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0
1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0
1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8
1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,6
1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6
0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,4
0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4
0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,2
0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2
0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0
0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0	
0,2	0,2	0,2	0,2	0	0		
0,2	0,2	0	0				
0	0						

Teneur en argile du sol (%)							
10-14,9	15-19,9	20-24,9	25-29,9	30-34,9	35-39,9	40-44,9	≥ 45
1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2
1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,0
1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0
1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0
1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8
1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6
0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6
0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6
0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4
0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4
0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,2
0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2
0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0
0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0	
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0		
0,2	0,2	0	0	0			
0	0						

6.2 Correction de la norme de fumure phosphatée et potassique à partir de l'extrait à l'eau saturée de CO₂

L'adaptation de la norme de fumure à la richesse en élément fertilisant de chaque parcelle s'effectue à l'aide des facteurs de correction des *tableaux 16 à 18*. Pour obtenir ces facteurs, on prend en compte la richesse en P, K et Mg ainsi que la teneur en argile du sol. Ces corrections sont valables pour la plupart des sols du plateau suisse, des Préalpes et du Jura possédant un taux de matière organique inférieur à 10%. Les sols qui ont un taux de matière organique supérieur à 10% sont interprétés selon les données du *tableau 11*.

L'expérience a démontré que les schistes des Grisons (Bündnerschiefer) et les sols acides du Tessin ne répondent pas exacte-

Tableau 15. Facteur de correction de la norme de fumure magnésienne en relation avec la teneur en Mg (acétate d'ammonium + EDTA) et en argile du sol pour les sols ayant moins de 10% de matière organique et un pH ≤ 7,6.

Pour les sols dont le pH est supérieur à 7,6, l'utilisation de la méthode CaCl₂ est conseillée.

Pour les prairies peu intensives, le facteur de correction maximal est de 1,0.

ment aux mêmes règles en ce qui concerne le P₂O₅. Les caractéristiques et les schémas d'interprétation de ces cas particuliers sont consignés dans le *tableau 17*. Les facteurs de corrections obtenus doivent être utilisés pour la fumure de chaque culture jusqu'à la prochaine analyse de terre.

Tableau 17. Facteur de correction de la norme de fumure phosphatée pour les grandes cultures, les herbages et les cultures maraîchères de pleine terre produites sur les schistes des Grisons (Bündnerschiefer) et les sols acides du Tessin (méthode CO₂).

Pour les prairies peu intensives, le facteur de correction maximal est de 1,0.

Tableau 16. Facteur de correction de la norme de fumure phosphatée pour les grandes cultures, les herbages et les cultures maraîchères de pleine terre en fonction de l'indice P (P₂O₅) et du taux d'argile de la fraction minérale de la terre fine du sol, lorsque ce dernier contient moins de 10% de MO (méthode CO₂).

Pour les prairies peu intensives, le facteur de correction maximal est de 1,0.

Résultats de l'analyse du sol en indice P (P ₂ O ₅)		Facteur de correction de la norme
Schistes des Grisons ayant un taux d'argile inférieur à 25% et un taux de silt supérieur à 40 %	Sols sableux acides du Tessin ayant moins de 10% d'argile, plus de 50% de sable et un pH inférieur à 5,9	
0 - 2,9	0 - 2,1	1,5
3,0 - 4,9	2,2 - 2,5	1,4
5,0 - 6,9	2,6 - 2,9	1,3
7,0 - 8,9	3,0 - 3,3	1,3
9,0 - 10,4	3,4 - 3,7	1,2
10,5 - 11,4	3,8 - 4,1	1,2
11,5 - 12,4	4,2 - 4,5	1,1
12,5 - 13,4	4,6 - 4,9	1,1
13,5 - 14,4	5,0 - 5,3	1,0
14,5 - 15,4	5,4 - 5,7	1,0
15,5 - 16,7	5,8 - 6,4	1,0
16,8 - 18,3	6,5 - 7,4	0,9
18,4 - 19,9	7,5 - 8,4	0,8
20,0 - 21,5	8,5 - 9,4	0,7
21,6 - 23,1	9,5 - 10,4	0,6
23,2 - 24,7	10,5 - 11,4	0,5
24,8 - 26,3	11,5 - 12,4	0,4
26,4 - 27,9	12,5 - 13,4	0,3
28,0 - 29,5	13,5 - 14,4	0,2
29,6 - 30,4	14,5 - 15,4	0,2
Plus de 30,4	Plus de 15,4	0

AAE10-Mg (mg Mg/kg)		
	0-4,9	5-9,9
0 - 49,9	1,2	1,2
50 - 74,9	1,0	1,0
75 - 99,9	1,0	1,0
100 - 124,9	0,8	0,8
125 - 149,9	0,8	0,8
150 - 174,9	0,4	0,4
175 - 199,9	0,4	0,4
200 - 224,9	0,2	0,2
225 - 249,9	0,2	0,2
250 - 274,9	0	0
275 - 299,9		
300 - 324,9		
325 - 349,9		
350 - 374,9		
375 - 399,9		
400 - 424,9		
425 - 449,9		
450 - 474,9		
475 - 499,9		
500 - 524,9		
525 - 549,9		
≥ 550		

Indice P		
	0-4,9	5-9,9
0 - 1,9	1,5	1,5
2 - 2,9	1,5	1,5
3 - 3,9	1,5	1,5
4 - 4,9	1,5	1,5
5 - 5,9	1,5	1,4
6 - 6,9	1,4	1,3
7 - 7,9	1,3	1,2
8 - 8,9	1,2	1,1
9 - 9,9	1,1	1,0
10 - 10,9	1,0	1,0
11 - 11,9	1,0	1,0
12 - 12,9	1,0	1,0
13 - 13,9	1,0	1,0
14 - 14,9	1,0	1,0
15 - 15,9	1,0	0,9
16 - 16,9	1,0	0,9
17 - 17,9	0,9	0,9
18 - 18,9	0,9	0,8
19 - 19,9	0,9	0,8
20 - 20,9	0,8	0,7
21 - 21,9	0,8	0,7
22 - 22,9	0,8	0,7
23 - 23,9	0,7	0,6
24 - 24,9	0,7	0,6
25 - 25,9	0,7	0,6
26 - 26,9	0,6	0,5
27 - 27,9	0,6	0,5
28 - 28,9	0,6	0,5
29 - 29,9	0,5	0,4
30 - 30,9	0,5	0,4
31 - 31,9	0,5	0,4
32 - 32,9	0,4	0,3
33 - 33,9	0,4	0,3
34 - 34,9	0,4	0,3
35 - 35,9	0,3	0,2
36 - 36,9	0,3	0,2
37 - 37,9	0,3	0
38 - 38,9	0,2	
39 - 39,9	0,2	
40 - 40,9	0,2	
≥ 41	0	

6.3 Correction de la norme de fumure magnésienne à partir de l'extrait au CaCl_2

L'interprétation des résultats d'analyse, de même que la correction de la norme de fumure sont effectuées en fonction de la teneur en argile du sol, comme pour le phosphore et le potassium (tabl. 19). Sur la base des caractéristiques de la solution d'extraction (solution d'échange), la teneur optimale du sol (facteur de correction 1,0) augmente avec le taux d'argile, contrairement au potassium.

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

On applique les *engrais minéraux phosphatés* en général avant le travail du sol ou la préparation du lit de semence. En ce qui concerne la forme des phosphates, les informations se trouvent dans les tableaux 55 et 58.

Pour éviter une consommation de luxe de potassium par certaines plantes fourragères, entraînant en général une réduction de l'absorption du magnésium, les apports de *potassium minéral* de plus de 200 kg $\text{K}_2\text{O}/\text{ha}$ seront fractionnés deux fois (par exemple au départ de la végétation, puis après la première ou la seconde exploitation). Dans les grandes cultures, afin d'éviter d'éventuels dégâts par excès de sel sur les plantes sensibles, on limitera les apports de potasse sous forme minérale à 300 kg $\text{K}_2\text{O}/\text{ha}$. Pour des doses supérieures justifiées par les analyses de sol, il est préférable d'en apporter une partie avec des engrais de ferme ou d'en appliquer une partie lors de l'installation d'un engrais vert. Dans les sols sableux, on apporte le potassium à la fin de l'hiver ou au printemps, afin d'éviter un déplacement trop profond dans des couches de sol non colonisées par les racines. Lorsqu'on choisit des engrais minéraux, on tient compte de leurs caractéristiques (forme, solubilité, etc.); ces dernières figurent dans les tableaux 55 et 58.

Le magnésium est relativement facilement lessivé dans le sol. En conséquence, il convient d'opter pour une des solutions suivantes :

- gérer les *engrais magnésiens* solubles à l'eau (sulfate de magnésium) comme l'azote: les appliquer au printemps, ou même envisager un fractionnement des apports. Cette technique est intéressante lorsqu'on utilise des engrais complets magnésiens ainsi que du nitrate d'ammonium;

Tableau 18. Facteur de correction de la norme de fumure potassique pour les grandes cultures, les herbages et les cultures maraîchères de pleine terre en fonction de l'indice K (K_2O) et du taux d'argile de la fraction minérale de la terre fine du sol, lorsque ce dernier contient moins de 10% de matière organique (méthode CO_2).

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 supérieur à 25 g K/kg MS, il ne faut pas dépasser le facteur de correction de 1,0.

Indice K		
	0-4,9	5-9,9
0 - 0,49	1,5	1,5
0,50 - 0,74	1,5	1,5
0,75 - 0,99	1,5	1,5
1,00 - 1,24	1,5	1,5
1,25 - 1,49	1,5	1,5
1,50 - 1,74	1,5	1,4
1,75 - 1,99	1,5	1,4
2,00 - 2,24	1,4	1,3
2,25 - 2,49	1,3	1,2
2,50 - 2,74	1,2	1,1
2,75 - 2,99	1,1	1,0
3,00 - 3,24	1,0	1,0
3,25 - 3,49	1,0	1,0
3,50 - 3,74	1,0	1,0
3,75 - 3,99	1,0	1,0
4,00 - 4,24	1,0	0,9
4,25 - 4,49	0,9	0,9
4,50 - 4,74	0,9	0,8
4,75 - 4,99	0,9	0,8
5,00 - 5,24	0,8	0,7
5,25 - 5,49	0,8	0,7
5,50 - 5,74	0,8	0,7
5,75 - 5,99	0,7	0,6
6,00 - 6,24	0,7	0,6
6,25 - 6,49	0,7	0,6
6,50 - 6,74	0,6	0,5
6,75 - 6,99	0,6	0,5
7,00 - 7,24	0,6	0,5
7,25 - 7,49	0,5	0,4
7,50 - 7,74	0,5	0,4
7,75 - 7,99	0,5	0,4
8,00 - 8,24	0,4	0,3
8,25 - 8,49	0,4	0,3
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
9,50 - 9,74	0,2	
9,75 - 9,99	0,2	
10,00 - 10,24	0,2	
≥ 10,25	0	

- appliquer du magnésium en assez grande quantité (cumul des besoins de 2 ou 3 cultures) comme fumure de fond sous une forme peu soluble (tabl. 55), telle que les carbonates et les oxydes (par exemple calcaire moulu, dolomie, dolomagnésie et MgO).

Dans le calcul de la fumure phosphatée et potassique, lorsque le facteur de correction est inférieur à 0,8, les *engrais de ferme* issus de fourrage produit sur l'exploitation peuvent être appliqués bien que le sol contienne d'importantes réserves d'éléments fertilisants. Toutefois la quantité d'éléments fertilisants ne devrait pas dépasser 80% (facteur de correction 0,8) de la norme. Par contre, des engrais de ferme produits à partir de fourrages étrangers à l'exploitation ainsi que les engrais provenant de l'extérieur de l'exploitation ne peuvent être appliqués qu'en quantité réduite (norme x facteur de correction).

Indice Mg		
	0-4,9	5-9,9
0 - 1,9	1,4	1,4
2 - 2,9	1,2	1,4
3 - 3,9	1,2	1,2
4 - 4,9	1,0	1,2
5 - 5,9	1,0	1,0
6 - 6,9	1,0	1,0
7 - 7,9	0,8	1,0
8 - 8,9	0,8	1,0
9 - 9,9	0,6	0,8
10 - 10,9	0,6	0,6
11 - 11,9	0,4	0,6
12 - 12,9	0,2	0,4
13 - 13,9	0	0,4
14 - 14,9		0,2
15 - 15,9		0
16 - 16,9		
17 - 17,9		
18 - 18,9		
19 - 19,9		
20 - 20,9		
21 - 21,9		
22 - 22,9		
23 - 23,9		
24 - 24,9		
25 - 25,9		
26 - 26,9		
27 - 27,9		
28 - 28,9		
≥ 29		

Teneur en argile du sol (%)							
10-14,9	15-19,9	20-24,9	25-29,9	30-34,9	35-39,9	40-44,9	≥45
1,5	1,5	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1
1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0
1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0
1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9
1,3	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8
1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7
1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
1,0	1,0	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4
1,0	1,0	0,9	0,8	0,6	0,5	0,3	0,2
1,0	1,0	0,9	0,7	0,5	0,4	0,2	0
1,0	0,9	0,8	0,7	0,5	0,3	0	
0,9	0,9	0,8	0,6	0,4	0,2		
0,9	0,8	0,7	0,5	0,3	0		
0,8	0,8	0,7	0,5	0,3			
0,8	0,7	0,6	0,4	0,2			
0,7	0,7	0,6	0,3	0			
0,7	0,6	0,5	0,3				
0,6	0,6	0,4	0,2				
0,6	0,5	0,4	0				
0,6	0,5	0,3					
0,5	0,4	0,3					
0,5	0,4	0,2					
0,5	0,3	0					
0,4	0,3						
0,4	0,2						
0,4	0,2						
0,3	0						
0,3							
0,2							
0,2							
0							

Teneur en argile du sol (%)							
10-14,9	15-19,9	20-24,9	25-29,9	30-34,9	35-39,9	40-44,9	≥45
1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
1,4	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
1,2	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
1,2	1,2	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,6
1,0	1,2	1,2	1,4	1,6	1,6	1,6	1,6
1,0	1,0	1,2	1,2	1,4	1,4	1,6	1,6
1,0	1,0	1,0	1,2	1,4	1,4	1,4	1,6
1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,4	1,4	1,4
0,8	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,4	1,4
0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2
0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2
0,6	0,6	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2
0,4	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0
0,4	0,4	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0
0,2	0,4	0,6	0,6	0,8	1,0	1,0	1,0
0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0
	0	0,4	0,4	0,6	0,8	0,8	1,0
		0,2	0,4	0,6	0,6	0,8	0,8
		0	0,2	0,4	0,6	0,6	0,8
			0	0,4	0,6	0,6	0,6
				0,2	0,4	0,6	0,6
				0	0,4	0,4	0,6
					0,2	0,4	0,4
					0	0,4	0,4
						0,2	0,4
						0	0,2
							0,2
							0

◀ **Tableau 19. Facteur de correction de la norme de fumure magnésienne pour les grandes cultures, les herbages et les cultures maraîchères de pleine terre en fonction de l'indice Mg et du taux d'argile de la fraction minérale de la terre fine du sol, lorsque ce dernier contient moins de 10% de matière organique (méthode CaCl_2).**
Pour les prairies peu intensives, le facteur de correction maximal est de 1,0.

7. FUMURE AZOTÉE

7.1 Grandes cultures

Les facteurs d'influence les plus importants pour le calcul de la fumure azotée proviennent de la *minéralisation de l'azote du sol* (celle-ci dépend du climat, de la teneur en matière organique du sol, du précédent cultural, du travail du sol, de sa structure, de l'arrière-effet des engrais organiques, du *besoin momentané des cultures* (qui dépend des conditions du milieu), des teneurs variables et du moment imprévisible de la minéralisation, des engrais organiques comme le fumier, le purin, les engrais verts, le compost et les boues d'épuration, ainsi que de l'importance des *pertes d'azote* par lessivage, évaporation d'ammoniac et dénitrification. Tous ces facteurs font qu'il n'existe, actuellement, aucune méthode parfaite pour optimiser la fumure azotée. C'est pourquoi deux méthodes de base sont décrites à l'intention des utilisateurs de ce document, proposant ainsi des approches différentes de la résolution du problème. La première méthode est basée sur une élaboration individuelle à long terme des facteurs d'influence (méthode par estimation ou méthode des normes corrigées). La seconde, relativement onéreuse, utilise la résultante du processus de la dynamique de l'azote au moyen d'analyses de sol à des moments définis (méthode par analyse ou méthode N_{min}).

Selon ses connaissances, ses expériences ainsi que la possibilité de déterminer l'azote minéral du sol (N_{min}) par des prélèvements et des analyses de terre, on choisit un procédé ou l'autre. Avec cela, il faut savoir que la méthode par estimation donne principalement de bons résultats dans les régions à faibles précipitations avec des rotations simples, alors que la méthode fondée sur l'analyse se montre plus intéressante pour les climats plus humides avec des rotations plus diversifiées.

Quelle que soit la méthode utilisée, le *tableau 20* 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 20. Stade d'application optimal et dose maximale admissible pour les différents apports d'azote selon la pluviométrie et les conditions pédologiques.

Lorsqu'un besoin plus élevé en azote est identifié, il ne faut pas dépasser la dose d'azote maximale prévue à chacun des stades définis. Cependant, au moment où les besoins de la culture sont les plus élevés, il est possible d'effectuer un épandage complémentaire de 40 kg N/ha.

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.

Cultures ou groupes de cultures	
Céréales et maïs Céréales d'automne	
Céréales de printemps	
Maïs grain, maïs d'ensilage, CCM (ensilage d'épis de maïs)	
Maïs vert	
Plantes à tubercules ou à racines Pommes de terre de consommation et industrielle	
Pommes de terre primeurs	
Pommes de terre plants	
Betteraves sucrières et fourragères	
Oléagineux et plantes à fibres Colza d'automne	
Colza de printemps	
Tournesol	
Chanvre oléagineux	
Chanvre à fibres	
Lin oléagineux	
Lin à fibres	
Roseau de Chine	
Kénaf	
Légumineuses à graines Légumes de pleine terre Chou à choucroute	
Chou de Bruxelles	
Chicorée-endive	
Carotte de garde	
Pois, haricot	
Oignon planté	
Epinards	
Engrais verts Autres cultures Tabac (Burley)	

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)
En automne (avant ou après semis)	0	En automne (avant ou après semis)	0
Fin hiver à reprise végétation	60	Reprise de la végétation	60
Début redressement à 1 nœud	80	1 nœud	70
2 nœuds à gaine ouverte	40	Apparition dernière feuille à début épiaison	50
Au semis	40	Au semis	30
Tallage à début redressement	80	3 feuilles à début tallage	50
2 nœuds à gaine ouverte	40	1 nœud	40
		Apparition dernière feuille à début épiaison	40
Au semis	80	Au semis	40
6 - 8 feuilles	80	4 - 6 feuilles	40
		6 - 8 feuilles	80
Au semis	60	Au semis	50
4 - 6 feuilles	40	4 - 6 feuilles	50
Plantation	80	Plantation	40
Levée à feuillage 10 cm	80	Feuillage 10 - 15 cm	80
		Peu avant que les fanes se touchent sur la ligne	40
Plantation	60	Plantation	40
Levée à feuillage 10 cm	60	Feuillage 5 - 10 cm	80
Plantation	50	Plantation	40
Levée à feuillage 10 cm	50	Feuillage 5 - 10 cm	60
Au semis	80	Au semis	40
4 - 6 feuilles	80	4 - 6 feuilles	60
		6 - 8 feuilles	60
Au semis	40	Au semis	40
Fin hiver à reprise végétation	80	Reprise végétation	80
Début montaison	60	Montaison (30 - 40 cm)	60
Au semis	50	Au semis	30
Formation des rosettes	80	Rosettes	60
Début montaison		Montaison (30 - 40 cm)	40
Au semis	80	Au semis	40
		6 - 8 feuilles	40
Au semis	40	Au semis	40
Plante 15 - 20 cm	40	Plante 15 - 20 cm	30
Au semis	50	Au semis	40
Plante 15 - 20 cm	70	Plante 15 - 20 cm	80
Au semis	50	Au semis	30
Plante 15 - 20 cm	40	Plante 15 - 20 cm	60
Au semis	30	Au semis	20
Plante 15 - 20 cm	30	Plante 15 - 20 cm	40
Début végétation	40	Début végétation	40
Au semis	50	Au semis	30
Plante 15 - 20 cm	50	Plante 15 - 20 cm	60
	0		0
Plantation	50	Plantation	30
Semaine de culture 4	80	Semaine de culture 4	70
		Semaine de culture 6	30
Plantation	40	Plantation	30
Semaine de culture 4	70	Semaine de culture 4	50
		Semaine de culture 6	30
Au semis	30	Au semis	30
Au semis	40	Au semis	30
Semaine de culture 4	60	Semaine de culture 4	60
	0		0
Plantation	20	Plantation	20
Semaine de culture 4	60	Semaine de culture 4	50
Au semis	40	Au semis	30
Semaine de culture 4	60	Semaine de culture 4	60
Au semis	40	Au semis	40
Plantation	100	Plantation	80
4 - 6 feuilles	80	4 - 6 feuilles	100

7.1.1 Méthode des normes corrigées (méthode par estimation)

7.1.1.1 Principes de la méthode des normes corrigées

Dans le *tableau 21*, on trouve la norme de base pour la fumure azotée correspondant à chaque culture. Cette valeur ne représente pas les prélèvements effectifs, comme c'est le cas pour P_2O_5 , K_2O et Mg , mais une valeur moyenne issue de nombreux résultats d'essais durant plusieurs années. Elle est par conséquent valable pour des conditions pédo-climatiques moyennes.

L'expérience a montré que le niveau de rendement des cultures est déterminé en premier lieu par les conditions pédo-climatiques caractéristiques du site. Un temps (température et répartition de la pluviométrie) et des conditions de sol favorables (régime de l'air et de l'eau) permettent une croissance des plantes plus intense que des conditions défavorables. Les micro-organismes du sol réagissent aussi par une activité plus intense (minéralisation de l'azote) aux mêmes conditions du milieu. En conséquence, la minéralisation de l'azote du sol et la croissance des plantes liées aux sites et aux conditions climatiques fonctionnent de manière synchronisée; en l'absence de fumure azotée, les rendements sont très disparates.

Lorsque l'engrais est appliqué de manière optimale (moment et quantité), l'augmentation de rendement liée à la fumure azotée (voir *fig. 5*, zone verte) est pratiquement indépendante d'un rendement obtenu sans fumure azotée (voir *fig. 5*, zone jaune). En règle générale, il n'y a pas lieu de corriger la fumure azotée en fonction du niveau de rendement.

La répartition des fractions de fumure azotée doit être adaptée aux techniques culturales particulières (semis en bande fraisée, semis direct) ou aux spécificités variétales (pour la pomme de terre par exemple). Pour tenir compte de ces facteurs, il faut se référer aux documents techniques spécifiques des services de vulgarisation agricole.

Tableau 21. Normes pour la fumure azotée des grandes cultures et des légumes de pleine terre.

Ces normes sont valables pour les rendements moyens indiqués. Lorsque les rendements sont régulièrement plus élevés, il n'y a pas de correction à prévoir. Lorsque les rendements sont régulièrement inférieurs de plus de 20%, la correction de fumure est proportionnelle à la différence de rendement. Ceci est surtout valable pour les zones marginales des grandes cultures.

Exemple: La norme de fumure azotée pour un blé d'automne ayant un rendement de 60 dt/ha est de 140 kg N/ha. Pour un rendement moyen de 75 dt/ha, la norme est également de 140 kg N/ha. Pour un rendement moyen de 45 dt/ha, la réduction linéaire de la norme de fumure azotée est de 25% de 140 kg N/ha; la norme corrigée de la fumure azotée est dans ce cas de 105 kg N/ha.

Ces normes servent au calcul de la dose d'azote, elles doivent être utilisées en prenant en considération les corrections des tableaux 22 à 27.

Culture

Céréales et maïs

Blé d'automne
Blé de printemps
Orge d'automne
Orge de printemps
Avoine d'automne et de printemps
Seigle d'automne
Epeautre
Triticale d'automne
Triticale de printemps
Engrain (amidonnier)
Maïs grain, CCM
Maïs d'ensilage
Maïs vert

Plantes à tubercules ou à racines

Pomme de terre, consommation et industrielle
Pomme de terre, primeur et plant
Betterave sucrière
Betterave fourragère

Oléagineux et plantes destinées à la production de fibres

Colza d'automne
Colza de printemps
Tournesol
Chanvre oléagineux
Chanvre à fibres
Lin oléagineux
Lin à fibres
Roseau de Chine
Kénaf

Légumineuses à graines

Légumes de pleine terre

Chou à choucroute
Chou de Bruxelles
Chicorée endive
Carotte de garde, industrielle
Pois, haricot (industriel)
Oignons plantés
Epinard 1 coupe

Engrais vert

Engrais vert (légumineuses)
Engrais vert (non légumineuses)

Autres cultures

Tabac Burley
Tabac Virginie
Cultures non mentionnées (non légumineuses)

Rendement de référence ¹		Norme
Produit	dt/ha	(kg N/ha)
Grain	60	140
Grain	50	120
Grain	60	110
Grain	45	90
Grain	55	90
Grain	55	90
Grain	50	100
Grain	60	110
Grain	55	100
Grain	25	40
Grain	80	110
Plante entière ²	160	110
Plante entière ²	60	70
Tubercules	450	120
Tubercules	250	100
Racines	600	100
Racines ²	160	100
Graines	35	140
Graines	25	120
Graines	30	60
Graines	13	60
Tiges ²	100	50
Graines	20	70
Tiges	45	60
Plante entière ²	200	30
Plante entière ²	50	70
		0
Têtes	800	200
Rosettes	120	160
Racines	400	0
Racines	600	120
		0
Plante entière ³	500	100
Feuilles	120	140
-	-	0
-	-	30
Feuilles	25	170
Feuilles	25	0
		80

¹ Avec une teneur en eau usuelle à la récolte.

² Matière sèche récoltée.

³ Récolte après séchage sur les champs, toute la plante est évacuée.

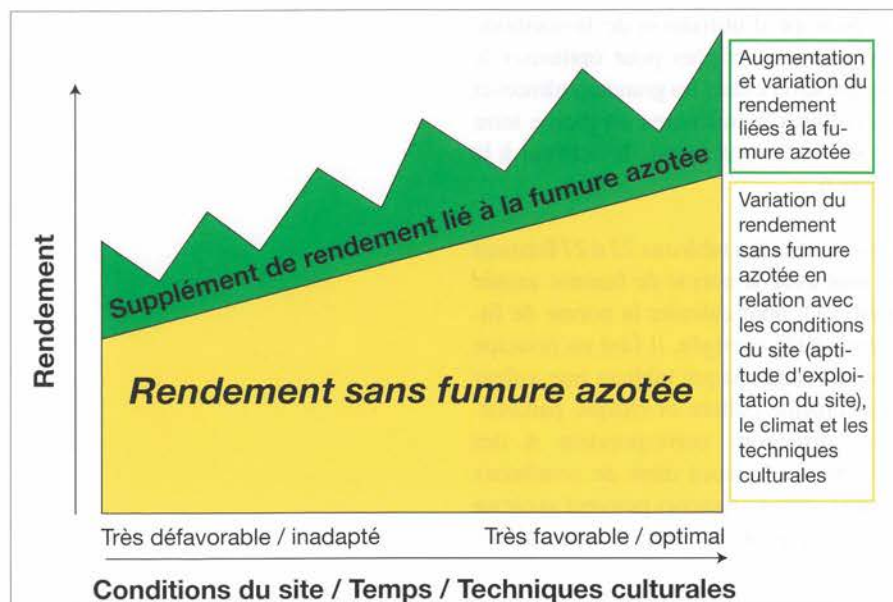


Fig. 5. Représentation schématique de la variabilité du rendement en fonction des conditions locales et de la fumure azotée.

Compléter le cycle des éléments nutritifs!

Une gamme de produits biologique pour une culture écologique

BIORGA

Nouveau BIORGA engrais azoté naturel
N 11%, K 1%
Granulé ou en poudre.
A base de poudre de corne et de malt

Nouveau BIORGA végétal
N 5%, P 1%, K 5%
Granulé.
Produit d'origine végétale

BIORGA engrais liquide NK
N 3%, K 7%
Produit d'origine végétale

BIORGA engrais liquide azoté
N 9%
Produit d'origine végétale

Hauert & Cie.
CH-3257 Grossaffoltern
Tél. 032 389 10 10
Fax 032 389 10 14
www.hauert.com

Ces engrais sont conformes aux directives de l'ASOAB pour la culture biologique (liste des intrants)

Le principe d'utilisation de la méthode des normes corrigées pour optimiser la fumure azotée dans les grandes cultures et les cultures maraîchères de pleine terre est présenté sous forme de schéma à la figure 6.

Les données des *tableaux* 22 à 27 forment un tout avec la norme de fumure azotée (tabl. 21): pour calculer la norme de fumure azotée corrigée, il faut en principe trouver dans chaque tableau une valeur pour chaque culture et chaque parcelle. Les corrections correspondent à des moyennes obtenues dans de nombreux essais; certains facteurs peuvent avoir un effet divergent par rapport aux valeurs indiquées.

7.1.1.2 Procédure pour déterminer la norme corrigée

A partir des normes du tableau 21, l'utilisateur doit gérer les corrections proposées dans les tableaux 22 à 27. Il y a lieu de remarquer que chaque tableau (critère d'appréciation) fournit une valeur. Une analyse à large échelle, effectuée dans les conditions pédo-climatiques de la Suisse alémanique, a démontré, en particulier pour les cultures sarclées, qu'il n'est pas rare que le cumul des corrections des tableaux 22 à 27 conduise à des écarts plus importants. Afin d'éviter une fourchette de fumure trop grossière pour ces régions, il convient de diviser la somme des corrections par deux, puis d'additionner le résultat à la norme.

La dose totale est ensuite répartie en fractions, de manière à ce que les doses maximales ne soient pas dépassées.

L'azote apporté par les engrais organiques n'est ni intégralement ni immédiatement à la disposition des plantes cultivées. La proportion d'azote disponible pour l'année d'épandage (principalement $\text{NH}_4\text{-N}$) est indiquée dans le tableau 46. Le *tableau* 24 permet d'estimer l'effet résiduel qui peut être pris en compte l'année suivant celle de l'épandage. Selon le type d'engrais de ferme, la minéralisation de l'azote peut durer plus longtemps et elle a tendance à se ralentir. Ceci est dû au fait que la matière organique restante est plus difficilement dégradable. Lorsque la proportion d'azote organique lié des engrais de ferme augmente, la quantité annuelle d'azote disponible diminue et l'arrière-effet se prolonge (fumier par ex.).

Fig. 6. Présentation schématique de la méthode des normes corrigées (méthode par estimation).

Tableau 22. Correction de la fumure azotée en fonction des teneurs en argile et en matière organique du sol.
Teneur en matière organique = teneur en C multipliée par 1,725.

Tableau 23. Correction de la fumure azotée en fonction du précédent cultural.

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

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

Norme

(kg N/ha)

Tableau 21

+

Corrections de la fumure

1. Teneurs en argile et en matière organique du sol: tableau 22.
2. Précédent cultural: tableau 23.
3. Arrière-effet des apports d'engrais de ferme: tableau 24.
4. Pluies d'hiver: tableau 25
5. Sarclage après la levée de la culture: tableau 26.
6. Potentiel de minéralisation du sol: tableau 27.

=

**Dose
d'azote à
apporter**
(kg N/ha)

Teneur en matière organique du sol (%)			Corrections par rapport à la norme (kg N/ha)
Argile < 15 %	Argile 15 - 30 %	Argile > 30 %	
< 3	< 4	< 6	0
3 - 5	4 - 6	6 - 8	- 20
5 - 7	6 - 8	8 - 10	- 30
7 - 12	8 - 13	10 - 15	- 50
12 - 20	13 - 20	15 - 20	- 80
> 20	> 20	> 20	-120

Précédent cultural	Corrections pour la culture suivante (kg N/ha)	
	labour / enfouissement automne	printemps
Prairie naturelle ou temporaire (3 ans et plus)	-20	-35
Prairie temporaire (2 ans)	-15	-25
Prairie temporaire de 1 an	-10	-15
Graminées pures (plus de 90%)	0	0
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 (paille récoltée)	0	
Céréale ou maïs (paille enfouie) suivie:		
- d'une culture d'automne	+20	
- d'une culture de printemps en février-mars	+10	
- d'une culture de printemps en avril-mai	0	
Céréale suivie d'une autre céréale	0	
Maïs ensilé en plante entière	0	
Pommes de terre, légumes de pleine terre	0	
Colza et tournesol (paille enfouie)	0	
Tabac	0	
Pois, soja, féverole et autres protéagineux	-30	-20
Betterave (feuilles récoltées)	0	
Betterave (feuilles enfouies)	-20	
Engrais vert non hivernant (phacélie, moutarde, etc.)	-10	0
Engrais vert avec crucifères hivernantes (colza, navette, etc.) au moins 20 cm	-10	-20
Engrais vert à base de féverole (avant fleur), mélange de Landsberger (début floraison), vesce (au moins 20 cm)	-	-30
Engrais vert à base de céréales (début montaison), tournesol (avant fleur)	-	-30
Cultures dérobées	0	

Pour simplifier, l'arrière-effet est pris en compte sur une seule année. Epancher des apports modérés d'engrais organiques (15-25 t/ha), à intervalles réguliers (tous les 2 à 3 ans), contribue à bien valoriser l'azote qu'ils contiennent.

Le potentiel de minéralisation de l'azote du sol dépend d'abord de la teneur de celui-ci en azote organique (humus) et de son degré d'aération (structure, taux d'argile). Les corrections de la norme de fumure azotée selon le taux d'argile et de matière organique du sol figurent dans le tableau 22.

Les données du *tableau 25* se basent sur le fait que les pluies d'hiver et de printemps n'influencent pas seulement le lessivage d'azote; la minéralisation ou la dénitrification de l'azote peuvent aussi être réduites ou favorisées par l'évolution du régime de l'eau du sol.

Des sarclages répétés après la levée de la culture peuvent stimuler la minéralisation de l'azote. Cette quantité d'azote minéralisable complémentaire dépend en premier lieu de la teneur en matière organique du sol (*tabl. 26*).

Les corrections proposées dans le tableau 27 permettent de nuancer encore la démarche en tenant compte de conditions particulières liées au site, aux conditions de l'année et à l'expérience de l'agriculteur. Des informations sur les valeurs $N_{\min}$ mesurées dans des conditions comparables (réseau $N_{\min}$) peuvent être valorisées en ce point de la démarche.

Pour les céréales d'automne, il est possible de remplacer les corrections du *tableau 27* par la démarche suivante: la norme corrigée obtenue à partir des tableaux 21 à 26 est réduite de 40 kg N/ha; la quantité d'azote restante est fractionnée en deux apports (départ de la végétation et stade premier nœud). Quant aux 40 kg N/ha, on peut les appliquer au stade deux nœuds, jusqu'au début de l'épiaison. Une fenêtre avec fumure azotée différenciée ou un test rapide (voir chapitre 7.1.3) en cours de végétation sont une bonne aide à la décision.

Tableau 24. 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 déchets, l'année de leur application, est donnée dans le tableau 46.

Engrais organique

Lisier (bovins)
Purin (bovins)

Fumier au tas
Fumier de stabulation libre
Fumier composté
Compost de fumier

Fumier de cheval
Fumier de moutons ou de chèvres

Lisier de porcs
Fumier de porcs

Crottes de poules (tapis roulant pour fientes)
Fumier de poules (au sol)
Fumier de volailles (à l'engrais) poulet, dinde

Boues d'épuration (liquides)
Boues d'épuration (déshydratées)
Boues d'épuration (déshydratées et chaulées)
Boues d'épuration (séchées et granulées)

Compost

Chaux d'Aarberg

Tableau 25. Correction de la fumure azotée en fonction des pluies d'hiver et de printemps.

Genre de culture

Colza d'automne
Céréales d'automne
Céréales de printemps
P. de terre primeurs et légumes de pleine terre
Pomme de terre plant
Betteraves, maïs, pommes de terre de consommation et industrielles

Tableau 26. Fourniture 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 (%)

Inférieur à 5
5-10
Plus de 10

Tableau 27. Correction de la fumure azotée en fonction du potentiel de minéralisation du sol ainsi que d'informations générales.

Appréciation des conditions de minéralisation de l'azote du sol et/ou du $N_{\min}$

Très élevé/très bonnes¹
Élevé/bonnes
Moyen
Faible²

	Proportion de l'azote total (en %) utilisable l'année suivant celle de l'apport, à prendre en compte dans la fumure
	-5
	-5
	-10
	-10
	-15
	-20
	-5
	-10
	-10
	-10
	-10
	-5
	-10
	-10
	-5
	-5
	0
	-10

	Correction de la fumure azotée (kg N/ha)			
	Période de précipitations et intensité			
	Novembre et décembre		Mars et avril	
	Faible ¹	Forte ²	Faible ¹	Forte ²
	-10	+10	0	0
	-20	+20	0	0
	-20	0	-10	+10
	-20	+10	-10	+30
	0	+10	-10	+30
	0	+10	-10	+30

¹ Faible = moins de 120 mm par période de 2 mois.

² Forte = plus de 180 mm par période de 2 mois.

	Correction de la fumure (kg N/ha)
	-10
	-15
	-20

	Correction de la fumure (kg N/ha)
	-40
	-20
	0
	+20

¹ Bonne rétention de l'azote pendant l'hiver, printemps chaud, sol normalement pourvu en eau, bon état structural des terres.

² Peu d'azote retenu pendant l'hiver, printemps froid, sol très humide ou très sec, état structural des terres défavorable.

7.1.2 Méthode fondée sur l'analyse du sol (méthode $N_{\min}$)

En règle générale, une méthode basée sur des valeurs mesurées peut fournir des résultats plus précis qu'une méthode basée sur des valeurs estimées. Ce gain d'informations doit être comparé aux investissements nécessaires.

La détermination de l'azote minéral du sol ($N_{\min}$) tient compte aussi bien de l'azote nitrique que de l'azote ammoniacal disponible des échantillons provenant de différentes couches du sol. Une mesure limitée aux nitrates uniquement conduit souvent à des conclusions erronées et à des apports d'azote trop importants. Une appréciation de l'azote ammoniacal du sol n'est pas possible.

Pour une mise en œuvre sûre de la méthode $N_{\min}$, il faut tenir compte des points qui suivent. Le moment et la profondeur du prélèvement de sol doivent être respectés (tabl. 28). Compte tenu des variations possibles dans les caractéristiques du sol, il faut au moins 10 à 12 piqûres par champ pour que l'échantillon soit représentatif. La proportion de pierres doit être évaluée objectivement. Les échantillons doivent être acheminés rapidement au laboratoire, bien protégés de tout réchauffement ou congelés.

Le dosage du $N_{\min}$ du sol par des tests rapides confirmés n'est pas recommandé en grandes cultures à cause de l'imprécision de la mesure. Ils peuvent toutefois rendre de bons services pour une aide à la décision en cultures maraîchères de pleine terre. Il s'agit surtout de cultures à courte période de végétation et de situations où la mesure est répétée sur une même parcelle en cours de végétation.

La dose optimale d'azote à appliquer à partir d'un dosage de $N_{\min}$ de la parcelle se définit à l'aide de valeurs de références. Ces dernières proviennent d'essais de longue durée, elles sont spécifiques à chaque culture pour un stade de végétation déterminé (tabl. 29 et 30). Notons que la précision 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, les résultats ne peuvent pas être interprétés.

Tableau 28. Moment de prélèvement des échantillons de sol pour l'analyse des teneurs en $N_{\min}$.

Culture
Céréales d'automne, colza
Céréales de printemps
Betteraves ¹
Maïs ¹
Pommes de terre ^{1,2}
Légumes de pleine terre ¹

Tableau 29. Recommandations pour la fumure azotée des céréales sur la base d'une analyse $N_{\min}$ du sol.

Les indications concernant le fractionnement de la fumure azotée figurent dans le tableau 16; un éventuel excédent entre la dose calculée et le maximum admissible pour le 1^{er} apport doit être reporté sur le 2^e apport. Si la dose calculée au 1^{er} apport d'azote est négative, il convient de la prendre en considération lors du 2^e ou éventuellement du 3^e apport.

Culture
Blé d'automne
Blé de printemps, épeautre
Orge d'automne
Triticale d'automne
Orge et triticale de printemps, seigle d'automne
Avoine
Justification de la correction
Prairie temporaire de plusieurs années ou prairie permanente comme précédent cultural
Sols avec des teneurs en matière organique de 5 à 20%
Potential de rendement de la parcelle faible à moyen ou profondeur utile du sol inférieure à 70 cm (zone limitrophe pour les grandes cultures).
En cas de renoncement au régulateur de croissance

Tableau 30. Recommandations pour la fumure azotée des cultures sarclées et des légumes de pleine terre sur la base d'une analyse $N_{\min}$ du sol.

Des indications quant au fractionnement de la fumure azotée figurent également dans le tableau 16. Le premier apport d'azote est appliqué en général au semis ou à la plantation. Le second apport est effectué aussitôt après avoir obtenu les résultats d'analyses du prélèvement (moment du prélèvement, voir tabl. 23).

Culture
Maïs
Betteraves fourragères et sucrières
Pommes de terre de consommation, fourragères et industrielles
Pommes de terre primeurs et plants
Colza
Chou à choucroute
Chou de Bruxelles
Chicorée-endive, production de racines
Carotte, conservation/industrie
Oignon planté
Epinard, 1 coupe
Epinard, 2 coupes
Sol riche en matière organique
Potential de rendement de la parcelle faible à moyen

Moment du prélèvement	Profondeurs de prélèvement
Peu avant la reprise de la végétation	0 - 30, 30 - 60, 60 - 90
Du semis au stade 3 feuilles	0 - 30, 30 - 60, 60 - 90
Stade 4 - 6 feuilles	0 - 30, 30 - 60, 60 - 90
Stade 5 - 6 feuilles (feuilles complètement développées)	0 - 30, 30 - 60, 60 - 90
Feuillage à environ 10 cm de hauteur	0 - 30, 30 - 60
4 ^e semaine de culture	0 - 30, 30 - 60

¹ La méthode N_{min} ne fournit des résultats fiables que lorsque la fumure azotée au semis ou juste avant est faible (maximum 40 kg/ha).

² Le sondage doit être effectué au milieu de la butte, préalablement nivelée.

1 ^{er} apport (kg N/ha)	2 ^e apport ¹ (kg N/ha)	3 ^e apport ^{1,2} (kg N/ha)
120 moins N_{min}	30	40
110 moins N_{min}	30	40
80 moins N_{min}	30	40
90 moins N_{min}	30	40
80 moins N_{min}	30	30
100 moins N_{min}	30	30

Ces recommandations ne sont valables que si certaines conditions sont remplies:

- Potentiel de rendement du site (valeurs égales ou supérieures à celles du tabl. 18).
- Risque de verse minimal (éventuellement utilisation d'un raccourcisseur).
- Risque limité de pertes de rendement par des maladies ou des ravageurs (choix variétal, techniques de cultures, rotation, éventuellement application de fongicides et d'insecticides).
- Sol avec des teneurs en matière organique en dessous de 5 % et avec une profondeur utile supérieure à 70 cm.

Pour les cas particuliers, la formule de base doit être corrigée selon les critères énumérés

Ces corrections ne peuvent pas être cumulées. La correction maximale par apport est de 30 kg N/ha.

-20	-10	-20
-10	-20	-20
-10	-10	-20
-10 ³ à -20 ⁴	-10	0

¹ En fonction des conditions générales de croissance et de développement de la culture, la dose d'azote peut être réduite ou augmentée de 10 kg N/ha.

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

³ Orge, triticale, seigle.

⁴ Blé, épeautre, avoine.

1 ^{er} apport (kg N/ha)	2 ^e apport (kg N/ha) ¹
0 à 30	si $N_{min} > 120$: 200 moins N_{min} si $N_{min} < 120$: 180 moins N_{min}
0 à 30	180 moins N_{min}
0 à 30	200 moins N_{min}
0 à 30	180 moins N_{min}
0 à 40 (en automne)	140 moins N_{min}
0 à 30	200 moins N_{min}
0 à 30	170 moins N_{min}
0	50 moins N_{min}
0 à 30	150 moins N_{min}
0 à 30	120 moins N_{min}
0 à 30	150 moins N_{min}
0 à 30	150 moins N_{min}
Les formules ci-dessus doivent être corrigées en fonction des critères suivants:	
-0 à -30	-20 à -40
0	-20 à -40
Il n'y a pas de correction à apporter pour l'arrière-effet azoté d'une éventuelle culture intermédiaire (engrais vert ou culture dérobée, par exemple) ou d'engrais de ferme: cet arrière-effet azoté est, en grande partie, compris dans le N_{min} déterminé dans le sol.	

¹ Un épandage de l'azote en 3 fractions est tout particulièrement indiqué lorsque la profondeur utile du sol est inférieure à 70 cm ou dans les régions où les précipitations sont supérieures à 260 mm durant la période d'avril à juin. Dans de tels cas, la dose d'azote calculée à partir du résultat de l'analyse N_{min} du sol doit être appliquée en 2 fois avec un intervalle de 2 à 4 semaines.

7.1.3 Méthodes complémentaires et autres

D'autres méthodes peuvent aussi être utilisées, soit à la place de l'une ou l'autre des deux méthodes décrites plus haut, soit en complément.

Des fenêtres de fumure (surfaces délimitées d'environ un are) recevant une fumure azotée réduite (-20 à -40 kg N/ha) peuvent rendre de précieux services comme aide à la décision ou instrument de contrôle. Il faut prévoir une nouvelle fenêtre pour chaque fractionnement. En cultures céréalières, la comparaison de la végétation entre la fenêtre et le champ permet d'optimiser le prochain apport d'azote.

L'analyse de matériel végétal consiste à prélever des plantes ou des parties de plantes selon un schéma précis puis à les analyser; les résultats sont ensuite comparés à des valeurs de référence reconnues. L'analyse de plantes ne permet pas de planifier la fumure. En revanche, elle peut faciliter un ajustement de celle-ci en cours de végétation.

L'analyse de jus permet de mesurer leur teneur en nitrate par le biais de tests rapides (test nitrate, Jubil ou autres); pour les céréales, des prélèvements à la base du maître brin sont effectués à une période précise, pour d'autres cultures, on emploie d'autres parties appropriées de la plante. Après un étalonnage de référence spécifique à la culture, ces résultats peuvent apporter une précieuse aide à la décision pour déterminer la dose d'azote, aussi bien pour la méthode des normes corrigées (en lieu et place des facteurs de correction du tableau 27) que pour la méthode $N_{\min}$ (en particulier pour le 3^e apport).

La mesure par test rapide de la coloration du feuillage nécessite un investissement d'étalonnage spécifique pour chaque variété. La couleur des feuilles est aussi influencée par d'autres facteurs que le niveau d'alimentation en azote (maladies, troubles végétatifs liés à des carences ou excès d'autres éléments nutritifs ou d'eau, intensité de la croissance en relation avec les conditions météorologiques, etc.). Tous ces facteurs rendent difficile une interprétation fiable des valeurs mesurées.

7.2 Herbages

En production fourragère, la norme de fumure azotée dépasse rarement 50% du prélèvement d'azote par le fourrage car les plantes disposent d'autres sources

d'approvisionnement: dégradation de la matière organique du sol, arrière-effet d'apports réguliers d'engrais de ferme, fixation biologique par les légumineuses, dépôts atmosphériques. Le *tableau 31* donne les normes 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. A l'exception des mélanges à base de fromental, d'avoine jaunâtre ou de brome (mélanges standard 450, 451 et 455), les nouvelles prairies temporaires reçoivent en outre un apport de 30 kg N/ha à la levée.

Les quantités indiquées dans le *tableau 31* 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.

Pâturage intensif: Nombre standard d'utilisations	$= \frac{\text{Rendement annuel (dt MS/ha)}}{25 \text{ (dt MS/ha)}}$
Prairie de fauche: 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 x norme selon *tableau 31*).

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, on n'apportera pas plus de 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.

Tableau 31. Normes de fumure en azote pour les prairies, selon l'intensité d'exploitation et le mode d'utilisation.

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 des utilisations étant plus élevé pour un pâturage. Cela ne signifie pas pour autant que les restitutions en azote au pâturage soient nulles. Mais, comme les déjections ne sont pas réparties de façon uniforme, l'azote qu'elles contiennent n'est valorisé que par une partie de la végétation.

Type de prairie	Mode d'utilisation	Apport recommandé par utilisation (kg N/ha)
Prairie permanente		
<i>intensive</i>	- par coupe	30 ¹
	- par pâture	20 ¹
<i>mi-intensive</i>	- par coupe	25
	- par pâture	15
<i>peu intensive</i>	- par coupe	15 ²
	- par pâture	0 ³
<i>extensive</i>	- 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) - trèfle violet «Mattenklee»-graminées (type M) - graminées-trèfle blanc (type G et G*) - à base de fromental, d'avoine jaunâtre ou de brome (mélanges standard 450, 451 et 455)		0 ^{4,5,6}
		0 ^{4,5}
	- par coupe	30 ^{1,4}
		20 ^{1,4}
	- par pâture	
		15 ^{2,7}
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 1re 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 P₂O₅ et K₂O (voir tabl. 3) est acceptable.

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

⁵ Si la proportion de légumineuses est faible, on peut fertiliser ces mélanges 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/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.

7.3 Stratégie de la fumure azotée lorsque la quantité d'azote est limitée

Lorsque la quantité d'azote dont on dispose pour l'exploitation est limitée (pour des raisons économiques et/ou écologiques), se pose alors la question de sa répartition selon les cultures. Pour gérer cette répartition, les remarques qui suivent peuvent s'avérer utiles:

- La distribution sur les cultures doit se faire de préférence en fonction de critères économiques (efficacité sur le rendement de certains apports, voir tabl. 32).
- La dose de purin, adaptée aux besoins de la culture, doit être suffisamment diluée (au moins 1:2, mieux 1:3) pour limiter les pertes (tabl. 52).
- Pour une quantité et un moment d'application corrects, le risque de pertes par volatilisation de NH_3 diminue lorsque la proportion de nitrates de l'engrais augmente (urée - nitrate d'ammoniaque - nitrate de chaux).
- Ne pas appliquer des doses supérieures à 60 kg N/ha.
- Tenir compte de manière raisonnée et systématique des réserves du sol (p. ex. analyse N_{min}) en grandes cultures.
- Appliquer l'engrais avec retenue sur les grandes cultures au printemps (céréales, colza), afin de ne pas en manquer pour les cultures qui sont fertilisées plus tard (betterave, pomme de terre, maïs).
- Réduire, voire même faire l'impasse sur le 3^e apport d'azote pour les céréales.
- En règle générale, supprimer l'apport d'azote au semis ou à la plantation pour les betteraves, le maïs et les pommes de terre.
- Ne pas réduire l'apport d'azote sur pomme de terre, lorsque les fanes atteignent 10 à 15 cm ou après; tenir compte des besoins spécifiques des variétés.
- 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 (en fonction de leurs besoins) qu'il est possible d'exploiter intensivement.
- Économiser 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).

Tableau 32. Effet de l'azote sur le rendement et utilisation de l'azote par quelques grandes cultures (exemple de résultats d'essais).

Moyennes de 3 à 5 années d'expérimentation avec 2 à 8 sites et 2 à 6 variétés. Nombre d'essais: blé d'automne 36; orge d'automne 7; colza 8; pommes de terre 13; maïs 34; betteraves sucrières 22.

- 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.

Il est possible de calculer l'effet d'un apport d'azote sur le rendement en comparant différents procédés dans des essais de fumure. Cet effet varie beaucoup selon la teneur en azote du sol (N_{min}) au moment de l'apport principal et selon la minéralisation microbienne de l'azote du sol durant la période de végétation. A titre d'exemple, on trouve quelques résultats d'essais dans le tableau 32. Les valeurs présentées doivent être considérées comme indicatives. Le sens et l'ordre de grandeur des différences entre les apports pour une même culture (céréales) et entre les cultures sont par contre valables.

Culture	Teneur moyenne en N_{min} du sol
Blé d'automne - 1 ^{er} apport N - 2 ^e apport N (en plus du 1 ^{er} apport) - 3 ^e apport N (en plus des 1 ^{er} et 2 ^e apports)	38
Orge d'automne - 1 ^{er} apport N - 2 ^e apport N (en plus du 1 ^{er} apport) - 3 ^e apport N (en plus des 1 ^{er} et 2 ^e apports)	26
Colza - Dose d'azote suboptimale - Apport complémentaire (en plus de la dose d'azote suboptimale)	
Pomme de terre - Dose d'azote suboptimale (réduction de 40 kg N/ha de la dose optimale) - Complément à la dose d'azote suboptimale, pour atteindre la dose optimale	95 ¹ 95 ¹
Maïs - Dose d'azote suboptimale (réduction de 40 kg N/ha de la dose optimale) - Complément à la dose d'azote suboptimale, pour atteindre la dose optimale	115 ¹ 115
Betterave sucrière - Dose d'azote suboptimale (réduction de 40 kg N/ha de la dose optimale) - Complément à la dose d'azote suboptimale, pour atteindre la dose optimale	120 120

Formule de calcul du N _{min}	Fumure azotée moyenne		Rendement moyen supplémentaire par kg N fertilisé	Utilisation de l'azote (supplément d'N absorbé pour 100 kg N fertilisé)
	(kg N/ha)	Moment		
120-N _{min}	82	Début végétation	20 kg grain	54
–	(82) + 30	1 nœud	13 kg grain	72
–	(82+30) + 50	Après stade 37	8 kg grain	62
80-N _{min}	54	Début végétation	24 kg grain	55
–	(54) + 30	1 nœud	12 kg grain	63
–	(54+30) + 50	Après stade 37	6 kg grain	58
–	100	Début végétation	6 kg grain	
–	(100) + 40	Après début végétation	4 kg grain	
160-N _{min}	95 ²	Fanes 15 cm	84 kg tubercules	56
200-N _{min}	(95) + 40	Fanes 15 cm	27 kg tubercules	23
160-N _{min}	75 ²	6-8 feuilles	27 kg grain	50
200-N _{min}	(75) + 40	6-8 feuilles	13 kg grain	43
160-N _{min}	80 ²	6-8 feuilles	99 kg racines avec 16 kg de sucre raffiné	69
200-N _{min}	(80) + 40	6-8 feuilles	41 kg racines avec 5 kg de sucre raffiné	65

¹ Après un apport de 30 kg N/ha au semis ou à la plantation

² Y compris les 30 kg N/ha au semis ou à la plantation



Vitesses surface
Heures



Débitmètres



Contrôle pulvérisation

**Tous les compteurs
pour l'agriculture de précision**

AgriTechno L'agriculture de précision

Case postale 24 – CH 1066 Epalinges

Tél. 021/784 19 60 – Fax 021/784 36 35 – GSM 079/333 04 10

E-mail: agritechno-lambert@bluewin.ch

8. ENTRETIEN CALCIQUE DU SOL

L'état calcique du sol est influencé par la roche-mère, par les conditions climatiques (pluviométrie) ainsi que par le système d'exploitation. Un entretien partiel du calcium (Ca) du sol est assuré par les déchets de récoltes (tabl. 59), les engrais de ferme, les boues d'épuration, les composts et les engrais du commerce contenant du Ca. Les apports de calcium n'ont pas forcément d'influence sur le pH du sol. Par conséquent, il est indispensable d'apporter un calcium sous forme d'oxyde ou de carbonate pour obtenir une élévation du pH. Lorsque ce dernier descend en dessous de 6,5, la dose d'entretien du sol doit être renforcée par des apports plus spécifiques d'engrais calcifiants. Si le pH se situe en dessous de 5,9 dans les terres ouvertes et de 5,5 dans les prairies, un chaulage peut se révéler nécessaire.

Dans le cas des prairies, et surtout des pâturages de montagne, il faut tenir compte de la composition botanique et du milieu avant d'entreprendre un chaulage. La nécessité d'une telle opération est définie en premier lieu par le pH du sol, complété par d'autres paramètres tels que le type d'exploitation, la capacité d'échange des cations du sol et son taux de saturation. Pour définir la quantité de chaux à apporter, on dispose de deux moyens d'appréciation. L'un, basé sur le pH(H₂O) du sol (tabl. 33), est une appréciation grossière. L'autre, basé sur la capacité d'échange des cations du sol, permet d'effectuer un apport plus précis. Le tableau 34 définit les doses de chaux à appliquer en fonction de la capacité d'échange des cations et du taux de saturation. Pour les prairies permanentes, le chaulage est conseillé dans le cas de sols ayant un taux de saturation inférieur à 50%. Pour les terres assolées, cette valeur est de 60%. La dose à apporter est définie en équivalent CaO, qui est l'unité de valeur neutralisante par convention, la substance neutralisante étant le Ca(OH)₂ qui se forme dans le sol à partir du CaO ou du CaCO₃.

Lorsque le pH du sol dépasse 6,2, les apports de chaux peuvent représenter un certain risque pour les cultures. Ces apports doivent rester exceptionnels et limités (maximum 10-15 dt CaO/ha). Les rotations comprenant de la pomme de terre sont particulièrement sensibles. Des pertes de rendement importantes peuvent

Tableau 33. Appréciation grossière de la dose de chaux à appliquer en fonction du pH et du taux d'argile du sol.

pH(H ₂ O) du sol	Dose de CaO (dt/ha)	
	moins de 10% d'argile	
	terre assolée	prairie permanente
< 5,0	20	10
5,0 - 5,5	15	7,5
5,6 - 6,2	10	5
> 6,2	0	0

Tableau 34. Dose d'amendement calcaire à appliquer en fonction 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 de chaux et calcaires se trouvent dans le tableau 61.

Taux de saturation (%)	
Terre assolée	Prairie permanente
> 60	> 50
50 - 60	40 - 50
40 - 49	30 - 39
< 40	< 30

être enregistrées - sans symptômes visibles de carence en cours de culture. Dans ces cas, il faut renoncer au chaulage sur les cultures sensibles comme la pomme de terre.

10 à 30% d'argile		plus de 30% d'argile	
terre assolée	prairie permanente	terre assolée	prairie permanente
30	15	35	20
25	12,5	30	17,5
20	10	25	15
0	0	0	0

Dose de CaO (dt/ha) selon CEC (mé/100 g de terre)			
< 10	10 - 15	15 - 20	> 20
0	0	0	0
7,3	12,5	15,5	20,0 ¹
10,0	19,0	21,5 ¹	28,0 ¹
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.



C.C.R. / G.L.B.

Coopérative de Constructions Rurales
Genossenschaft für Landw. Bauten
Rte de l'aérodrome
1730 Ecuwillens / FR

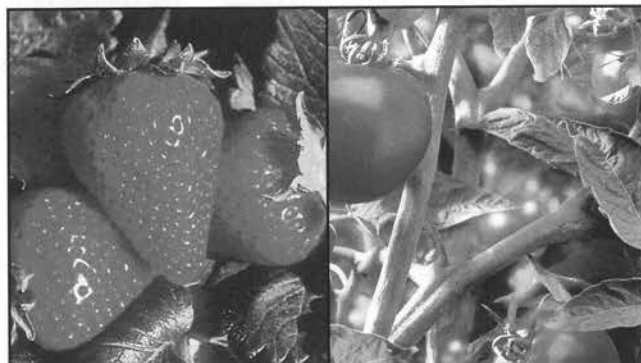
**VOUS DESIREZ CONSTRUIRE, TRANSFORMER
AGRANDIR, RENOVER ...**

- * FOSSE A LISIER
- * STABULATION LIBRE
- * TRANSFORMATION ET RENOVATION
- * AGRANDISSEMENT D'ETABLE
- * COUVERT — GARAGE — HANGAR — ETC..
- * VILLAS — CHALETS
- * CONSTRUCTION EN ENTREPRISE GENERALE

*CONTACTEZ-NOUS
nous sommes toujours
meilleurs marchés*

**tél. 026 / 411'35'45
fax 026 / 411'35'14**

**VOTRE SPECIALISTE DE LA
CONSTRUCTION RURALE**



T-Tape® TSX® irrigue la culture de votre choix.

Tout simplement, aucune autre gaine goutte à goutte n'irrigue autant de cultures et d'hectares au monde que le T-TAPE®TSX®. Il est résistant aux terrains les plus difficiles et aux conditions les plus dures, tout en véhiculant l'eau, les engrais et produits fertilisants avec précision et fiabilité. Efficace pour les rampes courtes ou longues, installé en surface ou enterré, T-TAPE TSX est la gaine la plus résistante au monde. Pour de plus amples informations sur le T-TAPE TSX veuillez contacter :

T-Tape®

Le leader mondial des
gaines goutte à goutte



CCD

Route Cantonale 1906 CHARRAT
Tél : 027/746 33 03 - Fax : 027/746 33 69

T-TAPE®, T-Tape et TSX® sont des marques déposées de T-Systems International, Inc. Brevet U.S. No 2 427 051 et d'autres brevets U.S. et étrangers déposés et en cours. ©1996 T-Systems International, Inc.

9. SOUFRE ET OLIGO-ÉLÉMENTS

Parmi les éléments nutritifs majeurs, le soufre va, à l'avenir, être considéré avec une attention plus marquée. 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.

9.1 Soufre

Aujourd'hui, les besoins des cultures en soufre sont principalement couverts par les résidus de récolte, les engrais de ferme, les engrais de déchets et les engrais minéraux. Durant plusieurs 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. 36) étaient assurés et les agriculteurs ont perdu l'habitude de gérer la nutrition en soufre des plantes. L'élimination du soufre des huiles de chauffage à partir des années 80 a eu pour conséquence une forte réduction des apports atmosphériques et l'apparition de symptômes de carence en soufre sur les cultures les plus sensibles.

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

Actuellement, les moyens qui permettent de bien apprécier le risque de carence en soufre sont encore au début de leur développement. La majeure partie de la réserve en soufre du sol se trouve sous forme organique (matière organique, engrais organique). Sa minéralisation est parallèle à celle de l'azote. Le sulfate (SO_4^{2-}) formé se comporte comme le nitrate.

La plante absorbe le soufre sous forme de sulfate. On en déduit que le sulfate peut être déterminé dans l'extrait des échantillons $N_{\min}$ (Méthode $S_{\min}$). Le résultat est en général caractérisé comme la valeur $S_{\min}$. En Allemagne, les travaux d'étalonnage de la méthode $S_{\min}$ sont en cours depuis quelques temps. On constate toutefois que l'interprétation de la valeur $S_{\min}$ est moins fiable que celle du $N_{\min}$.

Par opposition à l'azote, la combinaison des caractéristiques des facteurs sol, plante et climat permet d'apprécier si le potentiel est suffisant pour assurer l'alimentation en soufre des plantes. Les bases de cette appréciation sont les teneurs en matière organique, argile et en squelette du sol ainsi que les pluies d'hiver et de printemps (tabl. 35). La nécessité de fertiliser avec du soufre s'apprécie en comparant ces résultats avec les besoins des cultures (tabl. 36).

9.1.2 Forme et moment d'application de la fumure soufrée

Du fait que le comportement du sulfate prélevé par les plantes est semblable à celui du nitrate, l'apport de soufre sera effectué selon les mêmes règles que la fumure azotée. L'apport de fond est assuré par les engrais de ferme (1 tonne de fumier ou 1 m^3 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. 57). Il est également possible d'apporter du soufre aux moyens d'engrais minéraux potassiques, magnésiens ou complets dont la teneur en soufre est suffisante (tabl. 57). 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.

Tableau 35. 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 36

Tableau 36. Besoins en soufre de quelques cultures et définition de la fumure soufrée.

Interprétation de la somme des points obtenus au tableau 35.

Critères	Critère d'appréciation	Point
% d'argile du sol	< 10 10 - 30 > 30	1 3 5
% matière organique	< 2 2 - 5 > 5	1 3 5
Profondeur utile du sol	< 30 cm 30 - 70 cm > 70 cm	1 5 7
Pierrosité (% du volume)	> 30 10 - 30 < 10	1 3 5
Précipitations octobre-mars	> 540 mm de 370 à 540 mm < 370 mm	1 3 5
Engrais de ferme sur la parcelle	Aucun Occasionnellement (> 3 ans) Régulièrement (≤ 3 ans)	1 3 5
Niveau de rendement	>120% rendement tabl. 2 80 -120% rendement tabl. 2 < 80% rendement tabl. 2	1 3 5

Culture	Prélèvement en soufre (kg S/ha)	Fumure soufrée en kg S/ha selon l'offre en points (tabl. 35)		
		Moins de 14 points	14-20 points	Plus de 20 points
<i>Cultures très exigeantes</i>				
Colza	80	60	40	20
Choux	72	60	40	20
<i>Cultures moyennement exigeantes</i>				
Ail et oignon	35	25	15	0
Graminées fourragères	35	25	15	0
Betteraves sucrières et fourragères	34	25	15	0
Luzerne	30	20	15	0
Maïs	28	20	15	0
<i>Cultures peu exigeantes</i>				
Blé	23	20	0	0
Orge	20	10	0	0
Pomme de terre	20	10	0	0
Autres cultures	< 20	0	0	0

9.2 Bore et manganèse

Dans quelques cas exceptionnels, 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. Il est bon de rappeler ici que des doses intempestives de chaux peuvent sérieusement entraver l'alimentation des cultures en bore et en manganèse. Dans des cas particuliers, il peut être indispensable de doser le manganèse et le bore du sol. L'interprétation de ces analyses est décrite dans le tableau 10; le dosage des engrais contenant du bore et du manganèse figure dans le *tableau 37*. 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 recherches agronomiques.

Tableau 37. 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	
Bore	A	très pauvre	
	B	pauvre	
	C, D, E	satisfaisant à très riche	
Manganèse	A	très pauvre	
	B	pauvre	
	C	satisfaisant	

10. RÉSIDUS DE RÉCOLTE

Les normes de fumure comprennent à la fois les besoins en fertilisants du produit principal et celui du produit secondaire (tabl. 2). Si le produit secondaire (paille, fanes, tiges, feuilles, etc.) reste sur le champ à la récolte, sa teneur en fertilisant est déduite de la norme corrigée de la prochaine culture. La valeur fertilisante des déchets de récolte doit être prise en considération dans l'établissement du plan de fertilisation. Comme pour les engrais de ferme, la totalité de l'apport en P_2O_5 , K_2O et Mg doit être comptabilisée dans le plan de fumure (tabl. 2). Lorsque les résidus de récolte (pailles, fanes, tiges, feuilles, etc.) restent sur le champ, il faut déduire leur teneur en phosphate, potassium et magnésium de la norme corrigée de la culture suivante. Lorsque la partie récoltable des résidus de récolte est enlevée, il faut estimer la proportion de produit enlevé et déduire la différence entre la quantité produite (tabl. 2) et celle qui est enlevée du champ de la norme corrigée pour les phosphates, la potasse et le magnésium. En ce qui concerne la disponibilité de l'azote des résidus de récolte pour la culture suivante, il faut prendre en compte les valeurs indiquées dans le *tableau 38*.

Tableau 38. Proportion de résidus usuellement récoltés et disponibilité de l'azote pour la culture suivante lorsque les déchets de récolte ne sont pas enlevés.

Les données de ce tableau ne peuvent être utilisées que lorsque la moitié au moins des résidus de récolte restent sur le champ.

Culture
Céréales
Maïs grain, CCM (ensilage d'épis)
Pomme de terre consommation et industrie
Pomme de terre primeur et plant
Betteraves sucrière et fourragère
Colza
Tournesol
Chanvre et lin oléagineux
Chanvre fibre
Lin fibre
Légumineuses à graines
Choux à choucroute
Choux de Bruxelles
Chicorées-endives
Carottes
Pois et haricots industriels
Oignons
Epinard
Tabac

Sol pauvre à normale- ment 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
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
–	1,5-2,0 kg B/ha ²	–	2,0-2,5 kg B/ha ²	–	2,0-2,5 kg B/ha 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	10-15 kg/ha Sulfate de manganèse ³
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	10-15 kg/ha Sulfate de manganèse ³
–	–	–	–	–	–

¹ Bore: betterave, colza. 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 en-
grais composés boratés).

³ Application foliaire (dans 600-1000 litres
d'eau). Il est recommandé de répéter les ap-
plications. Le sulfate de manganèse peut être
remplacé par d'autres produits spécifiques
contenant du manganèse. Respecter les di-
rectives d'utilisation). L'application du man-
ganèse au sol n'est pas efficace dans ces
conditions.

Résidus de récolte	Proportion (%) de résidus usuellement récoltés (tabl. 2)	Azote des résidus de récolte disponible pour la culture suivante (kg N/ha) ¹
Pailles	65	0
Tiges	0	0
Fanes	0	0
Fanes	0	10
Feuilles	65	20
Pailles	65	0
Tiges	0	0
Pailles	0	0
Feuilles /graines	0	10
Graines	0	0
Pailles	0	20
Troncs et feuilles	0	20
Troncs et feuilles	0	20
Feuilles	0	0
Feuilles	0	10
Feuilles	0	20
Déchets	0	0
Déchets	0	10
Tiges	0	0

¹ Après enfouissement de la paille de céréales
ou de maïs, la dose d'azote de la culture
suivante doit éventuellement être renforcée
de 10 à 20 kg N/ha (tabl. 23)

11. ENGRAIS DE FERME

Dans la plupart des cas, les engrais de ferme de l'exploitation (purin et fumier) couvrent une bonne part des besoins des cultures. Du point de vue efficacité et gestion économique de la fumure, il est dès lors déterminant que toutes les exploitations qui ont du bétail utilisent judicieusement leurs engrais de ferme. Cependant, l'emploi inapproprié des engrais de ferme charge l'environnement (chapitre 14.3). Il est donc écologiquement très important de les utiliser avec précaution. Le bon usage des engrais de ferme est affecté par l'importance de la masse produite; leurs faibles teneurs en éléments fertilisants sont mal connues et l'effet des différentes formes d'azote qu'ils contiennent est incertain. Des valeurs indicatives peuvent aider l'agriculteur à maîtriser ces problèmes, elles constituent l'outil le plus fiable pour apprécier quantitativement et qualitativement les engrais de ferme. Combinées avec les variations possibles et les conseils généraux, ces valeurs indicatives contribuent à permettre l'utilisation judicieuse des engrais de ferme sur le plan agronomique et écologique.

11.1 Production et teneurs

11.1.1 Déjection d'éléments fertilisants par les animaux de rente

Une grande partie des nutriments présents dans le fourrage ingéré par les animaux sont éliminés dans les excréments (tabl. 39). Selon l'affouragement, le niveau de performance, l'état de santé du bétail etc., la proportion éliminée peut varier dans les limites indiquées dans le tableau, même au sein d'une exploitation. Grâce à l'utilisation des excréments comme engrais, le cycle interne des éléments nutritifs de l'exploitation est ainsi en grande partie fermé. Toutes les données concernant les teneurs des engrais de ferme proviennent des calculs de plans d'affouragement pour différentes rations (exception: N soluble provient de résultats d'analyses d'engrais de ferme et N disponible est basé sur une longue activité de recherche). Les teneurs des fourrages sont celles des normes d'affouragement de la Station fédérale de Posieux (RAP). Les teneurs des produits animaux sont consignées dans le tableau 60.

Le tableau 40 fournit les quantités d'éléments fertilisants excrétés par place d'animal et par an pour des conditions de production usuelle. Le tableau 41 donne

Tableau 39. Proportion des éléments N, P et K excrétés par rapport à la quantité ingérée.

Tableau 40. Quantité annuelle d'éléments nutritifs excrétée par unité animale dans les fèces et l'urine pour différents types d'animaux d'élevage. Les définitions se trouvent dans le tableau 41.

Ces données se rapportent aux excréments animaux (sans litière) pour une intensité de production moyenne et une alimentation conforme aux directives des stations fédérales. 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, des données par animal. Les temps morts usuels entre deux rotations sont compris dans les données par place et par année.

des éléments d'information sur les unités, leur définition et les conditions de base, ainsi que sur d'éventuelles corrections nécessaires.

Lorsque, dans des cas très particuliers, les données du tableau 41 ne suffisent pas pour prendre en compte des techniques spécifiques de production, il est possible de calculer les quantités excrétées au moyen d'un bilan. La quantité d'éléments ingérée est déterminée à partir de la consommation et de la teneur du fourrage (y compris les sels minéraux etc.), de cette quantité on déduit les éléments retenus dans les produits animaux (y compris l'accroissement). Les données concernant les teneurs de produits animaux se trouvent dans l'annexe (tabl. 60).

Type d'animal

Vache laitière
Bovin à l'engrais
Porc d'élevage y compris porcelet
Porc à l'engrais
Poule pondeuse
Poulet à l'engrais

Type d'animal

Vache laitière produisant 6000 kg lait/an⁶
Vache mère ou vache nourrice⁷
Bovin d'élevage⁶ moins de 1 an⁸
1 à 2 ans⁸
plus de 2 ans^{8,9}
Veau à l'engrais¹⁰ par place
par animal
Veau allaité¹¹ par animal et place

Bovin à l'engrais (65-520 kg)¹² par place
par animal
Bovin à l'engrais au pâturage (65-530 kg)¹³ par place
Taureau par animal

Jument avec poulain¹⁴
Autres chevaux plus de 3 ans¹⁵
Poulain 0,5-3 ans

Place de chèvre¹⁶
Place de mouton¹⁶
Place de brebis laitière¹⁶

Cerf¹⁷ par unité
Daim¹⁷ par unité
Bison plus de 3 ans
Bison moins de 3 ans
Lama plus de 2 ans
Lama jusqu'à 2 ans
Alpaca plus de 2 ans
Alpaca jusqu'à 2 ans

Porc à l'engrais/remonte¹⁸ par place
par animal

Truie d'élevage¹⁹
Verrat
Truie allaitante¹⁹ par place
par truie et rotation
Truie gestante¹⁹ par place
par truie et rotation
Porcelet sevré¹⁹ par place
par porcelet

Poule pondeuse²⁰ pour 100 places
Poulettes²¹ pour 100 places
pour 100 animaux
Poulets à l'engrais²² pour 100 places
pour 100 animaux
Dinde à l'engrais²³ pour 100 places
pour 100 animaux
Autruche jusqu'à 13 mois
Autruche plus de 13 mois

Place de lapine mère²⁴

N (%)	P (%)	K (%)
65-80	65-80	85-95
75-85	70-85	96-98
75-85	75-85	90-98
70-80	75-85	90-97
65-80	85-90	85-95
55-65	50-65	70-80

Éléments fertilisants excrétés (kg/an) ^{1,2,3}					Consommation de four- rage de base (dt MS/an)
N ⁴	P ₂ O ₅	K ₂ O ⁵	Mg	Ca	
110	39	175	11	43	55
80	30	120	8	30	40
25	7,5	35	4	10	11
40	13	60	5	15	22
55	20	75	7	23	33
13	4	7	0,3	1,5	1
5	1,5	2,7	0,1	0,6	0,4
34	8	34	2	8	11
33	11	33	4	9	14
41	14	41	5	11	17,5
40	12	55	4	13	16
65	18	80	6	20	25
50	18	85	5	20	30
52	31	88	7	23	29
44	23	75	5	19	29
42	19	68	4	14	26
16	5	22	1,5	6	6,8
12	4,5	20	2	7	8
21	9	32	3	9	11
20	7	29	2,4	8	5
40	14	58	4,8	16	10
60	30	110	6	30	39
20	10	45	2,5	11	18
17	6,5	28	1,7	6	8,5
11	4	15	1	3	4,9
11	4	18	1	4	5,5
7	2,5	9	0,5	2	3,0
13	6	7	1	2	0
4	2	2,3	0,3	0,7	0
35	19	19	3	12	0
18	10	10	1,5	6	0
42	23	18	4	15	0
5,1	2,8	2,2	0,5	1,8	0
20	11	13	2	8	0
6,5	3,5	4,2	0,6	2,6	0
4,6	2,6	2,5	0,4	2	0
0,4	0,2	0,2	0,04	0,2	0
71	46	25	6	75	0
34	16	12	2,3	18	0
15	7	5	1,0	8	0
40	15	15	3	10	0
5,5	2,2	2	0,3	1	0
140	70	40	18	35	0
48	25	13	6,5	12	0
11	6	8	0,8	8	2
24	10	15	1,3	15	11
9	6	5	1	4	0

1 à 24 Voir tableau 41.

Tableau 41. Définition des types d'animaux et remarques concernant le tableau 40.

Petites notes du tableau 40	Critère et mot clé	Commentaires
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, tabl. 59).
2	Correction du nombre d'animaux (alpage, etc.)	En cas d'alpage ou de charge saisonnière, la production d'éléments fertilisants est ajustée en proportion des 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) constitue une forte proportion de la ration. Dans ces cas, les déjections peuvent être corrigées selon les formules suivantes: - Facteur de correction pour déjections en K ₂ O = (proportion de maïs dans la ration de base d'hiver x 0,1) + (proportion de maïs dans la ration de base d'été x 0,4). Exemple: avec 30% de maïs en hiver et 20% en été : facteur de correction = (30 x 0,1) + (20 x 0,4) = 3 + 8 = 11; les déjections de K ₂ O sont par conséquent de 11% inférieures à celles figurant dans le tableau 40. - Facteur de correction pour N excrété (%) = proportion de maïs dans la ration d'été x 0,4 (la correction pour l'affouragement d'hiver n'est pas nécessaire). Pour d'autres rations, respectivement genres d'animaux, les corrections ne sont pas nécessaires, sauf lorsqu'on suit des stratégies de nutrition particulières (par ex: fourrage écologique).
4	Disponibilité de l'azote pour les plantes	Compte tenu des pertes à l'étable, durant le stockage, l'épandage et de la disponibilité partielle de l'azote organique (définition N disp., voir tabl. 62), la quantité d'azote indiquée ne correspond pas à celle qui pourra être utilisée pour la fumure. Généralement, la disponibilité à moyen terme est de l'ordre de 60% de l'azote total pour les plantes, tous types d'animaux confondus. Si l'on prend en compte les pertes inévitables à l'étable ainsi que celles liées au stockage, l'azote disponible pour l'exploitation correspond 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	Vache laitière	Poids moyen croissance terminée: 650 kg; production annuelle de lait 6000 kg. Par 1000 kg de lait en moins, réduire de 10% les déjections et pour 1000 kg en plus, les augmenter de 5%. 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	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 de P ₂ O ₅ , 110 kg de K ₂ O, 7 kg Mg et de 28 kg de Ca; la consommation de fourrage est de 35 dt par année.
8	Bovin d'élevage	De la naissance au premier vêlage, un veau d'élevage produit 90 kg N, 30 kg P ₂ O ₅ , 130 kg K ₂ O et 11 kg Mg. La répartition de ces quantités sur les années dépend de l'intensité de production, en particulier de l'âge de la génisse lors du premier vêlage. Les indications dans le tableau s'appliquent pour un premier vêlage à 30 mois. Les veaux vendus à l'âge de 3-6 semaines pour l'engraissement ne sont pas pris en considération.
9	Bovin d'élevage de plus de 2 ans	Pour un premier vêlage avant 3 ans, on corrige les valeurs de la troisième année de manière conséquente; ex. pour un premier vêlage à 30 mois, on compte la moitié des valeurs indiquées.
10	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.
11	Veau allaité	Atteint à peu près 350 kg à l'âge d'environ 10 mois, 1 rotation par année est possible. Si ces animaux sont engraisés jusqu'à environ 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.
12	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 sont mis à l'étable après sevrage, la production par place et par année.(env. 1 rotation par année) revient à 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, on peut utiliser les mêmes valeurs que pour les veaux à l'engrais.
13	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.
14	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 composé uniquement d'avoine (maximum 700 kg par année), la consommation de fourrage grossier augmente de 5 dt.

Petites notes du tableau 40	Critère et mot clé	Commentaires
15	Autre cheval de plus de 3 ans	Cheval adulte d'un poids moyen de 550 kg. Les valeurs relatives aux animaux plus légers (poney, âne, jeunes chevaux) peuvent être converties en fonction du poids effectif. Ces données sont valables pour un petit effort (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, pour les autres éléments, de 4%.
16	Place de chèvre	Production annuelle par chèvre, y compris les animaux destinés à la remonte, à l'engraissement et une «part du bouc».
16	Place de mouton	Production annuelle par mouton, y compris les animaux destinés à la remonte, à l'engraissement et une «part du 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. La consommation de fourrage de base est de 7,2 dt par année.
16	Place de brebis laitière	Production annuelle par brebis laitière, y compris les animaux destinés à la remonte, à l'engraissement et une «part du bélier».
17	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.
18	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. 3,2 séries par année). La production de P ₂ O ₅ indiquée se base sur une teneur des fourrages de 6 g par kg (13,5 MJ EDP par 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 par kg de fourrage (13,5 MJ EDP par kg de fourrage). Une variation de 10 g des protéines brutes par kg engendre une augmentation ou diminution de 8%. En dessous de 10 kg N et 2,4 kg P ₂ O ₅ , la quantité excrétée ne peut pas être réduite.
19	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 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%. Un verrat compte pour 0,5 truie d'élevage. La production d'azote est basée sur une teneur en protéine de 150 g/kg pour les truies gestantes, 160 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. En dessous de 20 kg N et 12 kg P ₂ O ₅ , la quantité excrétée par place de truie d'élevage ne peut pas être réduite.
20	Poules pondeuses	La durée de production 400-600 jours n'a pas d'influence sur les excréments. Ces données sont basées sur une teneur du fourrage de 6,4 g P/kg. Lorsque la teneur en P est modifiée de 1 g par kg, la production de P ₂ O ₅ change de 20% environ.
21	Poulettes	En 18 semaines, les poussins atteignent un poids de 1,3 à 1,6 kg; 2-2,5 séries par année.
22	Poulets à l'engrais	Par «place normale» à l'engrais (durée d'engraissement environ 40 jours, sauf pour l'élevage avec aire de liberté à l'extérieur). Lorsque les rotations sont plus courtes, on calcule avec le nombre normal de places à l'engrais (ex.: halle de 300 m ² , env. 4'300 - 5'000 bêtes, selon le poids final). Pour les installations qui disposent d'une aire à climat extérieur, il faut utiliser les données par place d'animal. Les données sont basées sur une teneur de 5,8-6,5 g P et 200-220 g de protéines brutes par kg d'aliment. Selon la production (poids final, valorisation du fourrage, temps mort entre les séries, etc.) la relation teneur du fourrage/quantité excrétée peut varier de manière importante. Dans les cas particuliers, il est nécessaire de calculer des bilans spécifiques à l'exploitation.
23	Dindes à l'engrais	Production de dindes avec un poids moyen final de 12 kg, 2,8 séries par année. Pour les 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 de 230 kg N, 115 kg P ₂ O ₅ et 70 kg K ₂ O pour 100 places.
24	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.

11.1.2 Production de lisier/purin et de fumier

Le *tableau 42* fournit les indications sur la production de purin et de fumier selon les différentes espèces animales et systèmes de stabulation. L'affouragement influence la quantité d'excréments et par conséquent celles de purin et de fumier. Ces données sont celles d'un 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 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 à ce sujet sont consignées dans le *tableau 43*. Il est conseillé et, dans beaucoup d'exploitations, courant de diluer le lisier au moins dans le rapport 1:2 (part de lisier:part d'eau) pour le purin complet (lisier) et le purin de porc et 1:3 pour le purin avec peu d'excréments solides. Pour réduire les pertes importantes d'azote à l'épandage (évaporation d'ammoniac, voir tabl. 51), en particulier sur les cultures fourragères en été, il faut tendre vers une dilution plus importante.

Tableau 42. Valeurs indicatives de la production annuelle d'engrais de ferme des animaux d'élevage en fonction du système de stabulation.

Type d'animaux/orientation de la production	
1	Vache laitière prod. 6000 kg de lait/an ⁵
1	Vache mère
1	Bovin d'élevage moins de 1 an
1	Bovin d'élevage 1 à 2 ans
1	Bovin d'élevage plus de 2 ans
1	Place de veau à l'engrais
1	Veau allaité
1	Place de bovin à l'engrais (125-500 kg)
1	Place de brouard bovin à l'engrais
1	Cheval
1	Jument avec poulain (fumier frais)
1	Poulain 0,5-2,5 ans (fumier frais)
1	Place de chèvre
1	Place de mouton
1	Place de brebis laitière
1	Place de porc à l'engrais ⁸
1	Place de porc d'élevage
1	Place de truie après mise-bas ⁸
1	Place de truie portante
1	Place de porcelet
100	Places de poules pondeuses
100	Places de poulettes
100	Places de poulets à l'engrais
100	Places de dindes à l'engrais

Tableau 43. Valeurs indicatives pour le calcul des quantités d'eaux usées déversées dans la fosse à purin.

Type d'eau usée	
Eau pour le nettoyage de l'étable et les soins aux animaux ¹ Stabulation avec grille et canal ²	
Eau pour nettoyage de la porcherie et les soins aux animaux ³	
Eau pour le nettoyage de poulaillers de poules pondeuses ³ Eau pour le nettoyage de poulaillers de volaille à l'engrais ³	
Jus d'écoulement de la fumièrre, des parcours en dur non couverts et des silos-couloirs ⁴	
Eau du refroidissement par ruissellement pour les boilles à lait ⁴	
Eau de nettoyage: ⁴	chambre à lait citerne de refroidissement installation de traite à pots installation de traite directe salle de traite
Eaux usées domestiques Conditions usuelles (machine à laver, douche/bain, WC) Installations sanitaires simples Cas particuliers avec quantités d'eau régulièrement bien inférieures ⁵	

¹ La quantité d'eaux usées par UGB et mois peut varier fortement selon la manière de nettoyer. Un compteur permet d'obtenir des valeurs plus exactes pour les exploitations individuelles. La quantité d'eau indiquée suffit généralement pour l'utilisation d'un racleur.

² Cette quantité est généralement ajoutée à celle utilisée pour le nettoyage normal des étables. Elle est nécessaire au bon fonctionnement du système et par conséquent peut difficilement être réduite en hiver.

³ Cette quantité d'eau peut varier considérablement selon l'équipement de l'exploitation (nettoyage à haute pression, etc.) et les saisons.

⁴ Cette quantité n'est prise en considération que lorsque l'eau s'écoule dans la fosse à purin.

⁵ Cette valeur n'est valable que pour de très vieux bâtiments ne disposant pas d'installations sanitaires et dans des régions où l'eau fait défaut de manière importante.

Quantité annuelle d'engrais de ferme produit en stabulation¹
et quantité de paille utilisée en fonction du système de stabulation²

Lisier seul ³ (m ³)	Purin et fumier ^{3,4}			Fumier seul ⁴	
	Paille (dt/an)	Purin (m ³)	Fumier (t)	Paille (dt/an)	Fumier (t)
22	6,5	11	8,5	30	20
15,5	5	8	6	25	14
5,5	1,5	2,7	2	8	5
8	2,5	4	3	12	7
11	3,5	5,5	4	16	10
	3,5	1,8	1,4	3,5	2,2
7,5	selon étable ⁶ selon étable ⁶			3,5	3
8				15	6,8
				15	7
				29	12 ⁷
				36	14 ⁷
				15	10 ⁷
				3,7	1,6
				3,7	1,7
				3,7	2,3
1,6	selon étable ⁶ selon étable ⁶			2,6	1,2
6				8	3,4
7,2	selon étable ⁶ selon étable ⁶ selon étable ⁶			10	4
3,6				6	2
0,8				1	0,5
tapis		caisse à crottes/élevage au sol			
4		1,8 0,7 0,8 3,0			
1,7					

Unité	m ³ /mois		m ³ /année
	Été	Hiver	
UGB	1	0,2	7
UGB	0,5	0,5	6
PPE	par série 0,15		0,5
100 PP			0,5
100 PE			0,8
m ²	0,05	0,1	1
1000 l lait refroidi	4	—	4
total	1	1	12
total	1	1	12
total	4	4	48
total	6	6	70
total	4	4	50
habitant	4,5	4	50
habitant	3	3	36
habitant	1,7	1,7	20

¹ Lorsque le bétail est temporairement absent de l'étable (pâturage, alpage), il faut réduire la quantité d'engrais de ferme produits en proportion. 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 purin et de fumier dépend du système de stabulation. Pour les stabulations entravées et libres, on peut calculer avec les mêmes quantités. Les quantités de fumier qui sont indiquées comprennent les pertes au stockage. Ces dernières peuvent par contre varier en fonction du genre 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. Pour un fumier au tas et un fumier de stabulation libre, il faut compter avec un poids volumique de 700-800 kg/m³. Du fumier sur épandeur chargé à la grue ou au frontal pèse en gros 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 (écurie d'alpage). Si l'on désire des données plus spécifiques de l'exploitation, il est conseillé de peser quelques épandeurs normalement chargés.

³ La quantité de lisier ou de purin indiquée correspond à du lisier non dilué. Les normes correspondant aux quantités d'eau susceptibles d'être déversées dans la fosse à purin figurent dans le tableau 43. Pour le lisier ou purin, c'est, à part le genre d'animal, surtout la quantité de fèces qu'ils contiennent, qui en définit le type. Un lisier contient toutes les fèces et l'urine; le purin avec excréments solides contient une partie de fèces et pratiquement toute l'urine. On conseille une dilution (part de lisier:part d'eau) d'au moins 1:2 pour le lisier, 1:3 pour le purin. Grâce à une dilution importante, on peut réduire sensiblement les pertes en ammoniac, principalement en été.

⁴ Le genre de fumier dépend à la fois de la quantité de la litière et de la proportion de fèces et d'urine qu'il contient. Lorsqu'on racle beaucoup de fèces, il en résulte un fumier pailleux.

⁵ Se rapporte à une production annuelle de 6000 kg de lait. Par 1000 kg de lait en moins, réduire de 10% les déjections et pour 1000 kg en plus, les augmenter de 5%. Cette correction tient compte des différences de poids des bêtes.

⁶ Dans ces étables, en règle générale, une partie de la surface concerne la production de purin ou de fumier. En conséquence, le lisier et le fumier sont équivalents. La répartition peut être estimée à partir de la proportion de 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% du fumier au tas.

⁷ Ces données concernent le fumier de cheval frais (stockage inférieur à 1 mois). Pour un stockage et une décomposition plus longs (plus de 3 mois), on peut calculer avec la moitié des valeurs indiquées.

⁸ Il s'agit de quantités d'eau usuelles, elles comprennent celles qui proviennent d'abreuvoirs non étanches. Dans les cas de fortes pertes, la dilution peut être plus forte et la quantité de purin ou de lisier plus importante.

11.1.3 Teneurs en éléments fertilisants des engrais de ferme

Le *tableau 44* contient les valeurs indicatives des teneurs moyennes en éléments fertilisants des différents types de lisier/purin et fumier. Les teneurs en éléments fertilisants des engrais de ferme sont influencées par l'affouragement. Les valeurs indicatives sont conçues de telle manière que des corrections ne sont nécessaires que pour des conditions particulières (voir notes complémentaires du tabl. 41).

11.1.4 Préparation des engrais de ferme

Les résultats d'essais concernant la préparation des engrais de ferme (aération du purin, additifs pour le purin, compostage du fumier, production de biogaz) sont divers et souvent contradictoires. Une étude plus poussée montre que les différences peuvent être expliquées par des conditions marginales différentes.

L'aération du purin n'apporte pas d'avantages agronomiques ou écologiques décisifs. En ce qui concerne les émissions d'odeurs, cette technique apporte des avantages, par rapport au stockage du purin en conditions anaérobies, qu'il faut confronter aux frais d'installation et de fonctionnement du système. Lorsque l'aération n'est pas appropriée (trop importante et/ou trop fréquente), des pertes d'azote sont inévitables (émission de NH_3).

Les additifs pour le purin sont nombreux sur le marché. Les effets indiqués ne sont souvent pas confirmés et correspondent à une bonne pratique d'utilisation. L'information ADCF «Additif pour 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), Changins, 1260 Nyon.

L'utilisation du lisier pour produire de l'énergie grâce aux installations de biogaz entraîne une réduction de la teneur en matière organique, tandis que, pour la plupart des éléments fertilisants, les conditions de fermentation anaérobie n'ont pas d'effets notables. Seule la teneur en azote organique est réduite avec une augmentation correspondante de la proportion d'ammonium.

Le conditionnement du fumier est fréquemment pratiqué dans les cultures biologiques suisses. En fonction de la durée du stockage et de la fréquence des brassa-

Tableau 44. Norme des teneurs moyennes des engrais de ferme pour différents animaux de rente en fonction du système de stabulation.

Le mode de préparation des engrais de ferme (chapitre 11.1.4) peut avoir une influence non négligeable sur les teneurs.

Type d'animal/ d'engrais de ferme	MS	MO
Vache laitière / élevage		
Lisier ¹	90	70
Purin ¹	75	40
Fumier au tas ²	190	150
Fumier de stabulation ²	210	175
Bovin à l'engrais		
Lisier ¹	90	65
Fumier de stabulation ²	210	155
Veau		
Fumier de veau ²	200	150
Cheval		
Fumier de cheval, frais ²	350	300
Fumier de cheval, mûr ²	350	240
Mouton/chèvre		
Fumier de mouton/chèvre ²	270	200
Porc		
Lisier de porc, engrais ^{1,8}	50	36
Lisier de porc, élevage ^{1,9}	50	33
Fumier de porc ²	270	40
Volaille		
Crottes de poule (tapis) ²	300	200
Fumier de poule (caisse à crottes, élevage au sol) ²	450	300
Fumier de poulet ^{2,10}	650	440
Fumier de dinde ²	600	400

Tableau 45. Modification de la masse et des teneurs du fumier lors de manipulations particulières.

Comme les matériaux de base peuvent avoir des teneurs différentes (tabl. 44, y compris petites notes), les modifications sont indiquées par rapport aux quantités et aux teneurs du matériel de base et elles peuvent être calculées dans chaque cas particulier.

Type de fumier préparé	Influence de la préparation sur les quantités (%) contenues dans le matériel de base		
	Masse fraîche	MS	
Fumier composté	-25	-20	
Compost de fumier ¹	-25	-30	

¹ La paille ajoutée est comprise dans ces valeurs

ges, on prépare un fumier composté ou un compost de fumier. La réduction de la masse et les pertes d'azote dépendent du rapport C/N du matériel de base. Pour réduire ces pertes dans le compost de fumier, on ajoute 100-200 kg de paille par m³ de fumier de base. Le *tableau 45* fournit les données concernant les modifications de la masse et des teneurs lors du conditionnement du fumier. Plusieurs essais effectués ces dernières décennies ont montré que le fumier composté et le compost de fumier ont sur les plantes une efficacité semblable voire légèrement supérieure à celle du fumier au tas (traditionnel).

Teneur en kg/m³ de lisier/purin non dilué, respectivement en kg/t de fumier

N _{total} ³	N _{sol} ⁴	N _{disp} ⁵	P ₂ O ₅ ⁶	K ₂ O ⁷	Mg ⁶	Ca ⁶
4,3	2,3	2,2 - 3,0	1,8	8,0	0,5	2,0
4,9	3,2	3,2 - 4,2	1,2	11,6	0,5	1,3
4,9	0,8	1,0 - 2,0	3,2	6,6	0,8	3,7
5,3	1,3	1,3 - 2,5	2,2	10,8	0,7	2,7
4,3	2,3	2,2 - 3,0	1,7	5,2	0,7	1,3
5,4	1,3	1,3 - 2,5	2,3	8,9	0,9	2,3
5,3	2,0	1,3 - 2,5	2,3	5,5	0,3	1,0
4,4	1,2	0,3 - 0,8	2,5	9,8	0,6	2,5
6,8	0,7	0,7 - 1,8	5,0	19,5	1,3	5,0
8,0	2,3	3,2 - 4,8	3,3	16,0	1,2	4,7
6,0	4,2	3,0 - 4,2	3,8	4,4	0,6	1,3
4,7	3,3	2,4 - 3,3	3,2	3,2	0,5	2,0
7,8	2,3	3,1 - 4,7	7,0	8,3	1,2	4,7
12	3,6	4,8 - 7,2	11,5	6,3	1,5	18,8
20	5	8 - 12	25,6	13,9	3,3	41,7
30	8	12 - 18	19	19	3,8	12,5
28	7,5	12 - 18	23	13	6,0	12

Influence de la préparation sur les concentrations (kg/t) de matière fraîche du fumier conditionné par rapport au matériel de base

MO	N _{tot}	N _{disp}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	MS	MO	N _{tot}	N _{disp}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
-30	-20	-15	0	-15	-5	+5	-13	0	+6	+25	+6	+14
-50	-20	-15	0	-15	-5	-9	-29	+14	+21	+43	+21	+13

¹ La qualité de lisier ou purin indiqué correspond à du lisier non dilué. Les normes correspondant aux quantités d'eau susceptibles d'être déversées dans la fosse à purin figurent dans le tableau 43. Exemple pour une dilution 1:1,5 (part de lisier : part d'eau) teneur non diluée : (1+1,5). On conseille une dilution (part de lisier : part d'eau) d'au moins 1:2 pour le lisier, 1:3 pour le purin. Grâce à des dilutions importantes avant l'épandage, on peut réduire sensiblement les pertes en ammoniac, principalement en été.

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

³ Azote total. Par rapport aux déjections de N du tableau 40, 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 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% dans la caisse à crottes, pour les poulets à l'engrais de 40%.

⁴ Azote soluble (principalement ammoniacal), immédiatement disponible pour la plante mais également susceptible d'être perdu (évaporation d'ammonium, dénitrification après nitrification; lixiviation).

⁵ Azote disponible (voir définitions et petites notes 1 à 3 du tableau 46).

⁶ 5-10% de plus lorsque l'aliment minéral complémentaire (bovin) est plus élevé que le besoin des animaux, ou lorsque la teneur du fourrage est plus élevée que celle que conseillent les stations 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 qui ont une teneur moyenne en potassium du fourrage sec de 20-25 g/kg MS, le potassium produit par des animaux consommant principalement des herbages diminue en gros de 15%. Pour une teneur moyenne du fourrage sec inférieur à 20 g/kg MS, la déjection de potassium est 30% plus faible. 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 de fourrage (88% MS), soit 13,5 MJ EDP. Une variation de 1 g P/kg engendre une augmentation ou réduction 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 des protéines brutes de 10 g/kg engendre une augmentation ou réduction globale de 8%.

⁹ Il s'agit de quantités d'eau usuelles, y compris celles qui proviennent d'abreuvoirs non étanches. Dans les cas de fortes fuites, la dilution peut être plus importante et la quantité de purin ou de lisier plus grande. La production de P₂O₅ est basée sur une teneur en P du fourrage de 6,5 g/kg (88% MS; moyenne pondérée de tous les fourrages). Pour chaque variation de 1 g/kg du fourrage, la production de P₂O₅ varie d'environ 20%.

¹⁰ Ces données sont pour des systèmes de production courants (situation 2001), indépendamment de la durée d'engraissement et du type d'animal.

11.1.5 Disponibilité de l'azote des engrais de ferme

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 à l'étable et durant le stockage sont normalement de l'ordre de 10 à 15% de l'azote excrété par les bovins en stabulation entravée et de 15 à 20% en stabulation libre, pour les porcs globalement de 20% et la volaille de 30-50% (voir remarque 3 du tabl. 44). L'azote se perd, également sous forme d'ammoniac, après l'application de lisier/purin et de fumier. De plus, l'azote organique contenu dans le lisier/purin et le fumier n'est pas totalement disponible pour les plantes. Cet azote se retrouve dans la matière organique du sol et n'est libéré qu'après une assez longue période de dégradation. Il est, par conséquent, difficile de savoir quand il sera disponible pour la plante. Le moment et l'importance de la minéralisation sont très difficilement estimables et cette source d'approvisionnement ne peut pas être distinguée des autres (matière organique, résidus de récolte, racines, etc.). L'azote «disponible» représente l'effet global attendu sur la plante, sur une durée d'environ 3 ans, dans le cas d'une gestion optimale des engrais de ferme. Il comprend à la fois la disponibilité à court terme, dans l'année d'application (tabl. 46), et l'arrière-effet (2-3 ans) provenant de la minéralisation de la matière organique. L'azote disponible correspond à l'efficacité d'une quantité équivalente d'engrais minéral appliqué de manière optimale. Quelques valeurs du *tableau 46* ont subi de faibles modifications liées à des résultats d'essais récents.

Dans les parcelles qui reçoivent régulièrement des engrais de ferme, il est possible d'utiliser directement les valeurs du tableau 44 pour l'azote disponible; ainsi, pour simplifier, on prend en compte l'arrière-effet d'apports antérieurs. En culture fourragère, on utilise plutôt les valeurs supérieures alors que, en grandes cultures, on calcule avec les valeurs inférieures. Le reste de l'azote disponible doit être réparti sur les années suivantes. Pour estimer l'azote disponible du purin l'année d'application, la pratique utilise parfois la teneur en azote ammoniacal. Sur l'exploitation, il est possible de faire une approximation par une détermination rapide. L'azote ammoniacal du fumier ne peut pas être considéré comme azote disponible.

La différence entre l'azote total et l'azote disponible des engrais de ferme est stoc-

Tableau 46. Proportion d'azote disponible de différents engrais de ferme et de déchets.

Type d'engrais
Lisier (bovin) Purin (pauvre en fèces)
Fumier au tas Fumier de stabulation libre Fumier de cheval Fumier de mouton/chèvre
Lisier de porc Fumier de porc
Crottes de poule (tapis roulant) Fumier de poule (caisse à crottes, élev. au sol) Fumier de volaille (à l'engrais), poulets, dindes
Boues d'épuration liquides Boues d'épuration (déchayées) Boues (déchayées et chaulées) Boues d'épuration séchées et granulées
Compost ⁵
Chaux d'Aarberg

kée dans le sol sous forme organique (humus); ceci est également valable pour les engrais de déchets. A long terme, après minéralisation et dénitrification, une partie de cet azote est dénitrifié et retourne ainsi sous forme d'azote moléculaire (N_2) dans l'atmosphère, source de tout l'azote présent dans la pédosphère. A part l'azote moléculaire, une petite quantité de gaz hilarant (N_2O), gaz à effet de serre, se dégage lors de ce processus. Une réduction ciblée de la dénitrification interrompt le cycle de l'azote. A long terme, cette interruption entraîne une augmentation des quantités d'azote présentes dans le sol et dans l'eau qui n'est pas compatible avec le principe de la durabilité.

Disponibilité de l'azote à moyen terme (% de l'azote total) ¹	Disponibilité de l'azote l'année d'application et pour la culture qui suit l'apport (% de l'azote total) ²	
	Cultures fourragères	Grandes cultures
50 - 70 65 - 85	55 70	45 60
20 - 40 ³ 25 - 50 ³ 10 - 25 ³ 40 - 60 ³	20 25 15 40	15 20 10 30
50 - 70 40 - 60 ³	60 ⁴	50 35
40 - 60 ³ 40 - 60 ³ 40 - 60 ³	⁴ ⁴ ⁴	40 35 35
40 - 60 ³ 30 - 50 ³ 25 - 40 ³ 25 - 30 ³	40 ⁴ 25 ⁴ 20 ⁴ 15 ⁴	40 25 20 15
5 - 10 ³	5 ⁴	5
70 - 80	70	60

¹ Dans les conditions moyennes de sols et de climats de la Suisse, cette quantité devrait être disponible pour les plantes lorsque l'application est optimale. Elle comprend à la fois la disponibilité à court terme et l'arrière-effet sur les années suivantes. Pour les parcelles qui reçoivent régulièrement des engrais de ferme, cette disponibilité peut être utilisée dans le plan de fumure, c'est une manière simple de prendre en compte l'arrière-effet d'apports antérieurs. Lors d'une application unique de fumier, l'effet de l'azote est réparti sur 2 à 3 ans. Avec le purin, cette manière de faire n'a pas de sens. En culture fourragère, il faut calculer avec 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 (par exemple: climat et conditions de sols défavorables), 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 en conséquence être réduites dans toute la mesure du possible.

² Lors d'une application optimale (réduction des pertes) d'engrais de ferme, le reste est minéralisé plus tard. La minéralisation dépend fortement de conditions de sol et de climat. La disponibilité peut, selon le moment de la minéralisation, avoir des effets agronomiques et/ou écologiques différents (rendement et qualité des plantes, pertes) (voir définition N_{disp}).

³ Dans les sols qui ont un taux d'argile supérieur à 30%, il ne faut pas utiliser une valeur supérieure à celle du bas de la fourchette: dans ces conditions de sol, l'efficacité est souvent encore plus faible. Pour l'année qui suit l'application, la disponibilité est également plus faible.

⁴ N'est pas conseillé dans les prairies naturelles.

⁵ Indépendamment du lieu et de la technique du compostage, ainsi que du degré de maturité du compost.

Carence en fer

optifer 6% Fe
engrais biologique
autorisé pour cultures biologiques

optifer

Cultures maraîchères, arbres fruitiers, viticulture, pelouse, mélange de terreau et compost:

5-10g de poudre/m² avant la culture
ou
traitement foliaire pendant la végétation
optifer est un produit végétal et reste à disposition de la plante pendant plusieurs années.

H. Gilgen optima-Werke
4142 Münchenstein
Tél. 061/411 02 50

optima

11.2 Utilisation des engrais de ferme

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 fortement réduites par les besoins des cultures, par les limites techniques de l'épandage (passage possible dans la culture, etc.) ainsi que par les conditions pédoclimatiques (aptitude du sol à supporter les passages, conditions climatiques, etc.). Pour que l'application du lisier/purin et du fumier puisse être effectuée au bon moment, il est indispensable que la capacité de stockage soit suffisante (voir *tabl. 47*), afin d'éviter de devoir épandre à un moment inopportun, c'est-à-dire en dehors de la période de végétation. La *figure 7* montre les époques durant lesquelles l'épandage est possible pour différentes cultures.

11.2.2 Critères définissant le dosage des engrais de ferme

Le meilleur moyen d'ajuster chaque apport d'engrais de ferme consiste à couvrir les besoins en azote et phosphore des cultures avec les quantités d'azote disponible et de phosphates contenues dans les engrais de ferme. Les doses usuelles par hectare sont de 20-30 m³ en production fourragère et 30-50 m³ en grandes cultures. En outre, il faut veiller à ce que la teneur en ammonium ne dépasse pas 1,2 kg NH₄ - N/m³. Des appareils permettent une mesure rapide suffisante de la teneur en ammonium du purin (ex. Güllemax). Les risques de pertes peuvent devenir considérables lorsque les apports sont trop importants et/ou les teneurs en NH₄ - N très élevées, ou si les techniques d'épandage sont suboptimales (*tabl. 54*). Concernant les doses maximales possibles pour le purin, les restrictions qui figurent dans les tableaux 50 et 51 doivent être respectées. Les quantités de potasse et de magnésium ainsi apportées seront comptabilisées lors de la prochaine fumure de fond. En principe, la totalité du phosphore, du potassium et du magnésium apportée est comptabilisée dans l'année d'application. Les éventuels excédents sont reportés sur l'année suivante. Avec le purin, la quantité apportée ne devrait, pour aucun des éléments nutritifs, dépasser la norme corrigée de manière importante.

Tableau 47. Normes pour la durée du stockage du purin servant au calcul du volume de la fosse.

Echelonnement de la durée de végétation (selon la carte des aptitudes climatiques)

A plus de 210 jours

B 190 - 210 jours

C 180 - 190 jours

D 170 - 180 jours

E 150 - 170 jours

F moins de 150 jours

Fig. 7. Représentation schématique des possibilités d'épandage des boues d'épuration et du purin, sur un sol absorbant, en fonction du développement des cultures. Ces indications doivent être adaptées aux conditions du site.

Durée la plus fréquente en

Durée de stockage en mois ¹

zones de grandes cultures et zones intermédiaires	3 - 5
zones de grandes cultures et zones intermédiaires	3,5 - 5
zones de collines des Préalpes	4 - 5
zones de montagne I	4,5 - 5,5

zones de montagne II à IV	5 - 6
zones de montagne II à IV	6 - 7

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

Betterave



Pomme de terre



Colza



Maïs



Céréales



Culture dérobée

Prairie



Jan.	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept.	Oct	Nov.	Déc
------	-----	------	-------	-----	------	------	------	-------	-----	------	-----

Epoque où l'épandage peut être conseillé

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

12. BOUES D'ÉPURATION ET COMPOST

L'utilisation de boues d'épuration ou de compost sur l'exploitation n'est possible que lorsque les engrais de ferme de l'exploitation ne couvrent pas la totalité des besoins des cultures. La dose et la date d'application sont définies par les besoins des cultures en fonction des teneurs en phosphore et en azote disponible. Les analyses de routine des boues d'épuration et des composts certifient que seuls des engrais de déchets de qualité satisfaisante peuvent être utilisés dans l'agriculture. Le bulletin de livraison ne contient pas seulement les quantités d'éléments fertilisants livrées, mais également la nature du produit ainsi que sa teneur en substances dangereuses attestée par la signature du fournisseur. Pour le calcul de la fertilisation, au lieu des valeurs indicatives du *tableau 48*, il est plus judicieux d'utiliser les valeurs qui se trouvent sur le bulletin de livraison, c'est-à-dire les teneurs moyennes provenant de la station d'épuration concernée.

Tableau 48. Teneurs moyennes en matière sèche, matière organique et éléments fertilisants des boues d'épuration et du compost.

Les valeurs peuvent varier énormément d'une STEP à l'autre, il faut donc utiliser autant que possible les données qui figurent sur le bulletin de livraison.

Engrais à base de déchets

- Boues d'épuration liquides³
- Boues d'épuration déshydratées⁵
- Boues d'épuration déshydratées et chaulées⁵
- Boues d'épuration séchées et granulées
- Compost⁶

13. CARACTÉRISTIQUES ET PARTICULARITÉS DE LA CULTURE BIOLOGIQUE

En principe, tous les chapitres de ce document sont applicables à la culture biologique. Quelques particularités d'importance spécifique dans l'utilisation des engrais en culture biologique sont énumérées ci-dessous.

La culture biologique essaie de stimuler les compartiments du sol responsable de la transformation de l'azote par une augmentation des cultures de légumineuses et l'utilisation ciblée d'engrais de ferme et de compost. Des épandages de lisier et des sarclages aux moments où les plantes ont des besoins en azote élevés cherchent à renforcer la mobilisation de ces formes d'azote. Par rapport à un labour, l'incorporation superficielle des engrais de ferme et des déchets de récolte favorise la minéralisation de l'azote et augmente son utilisation par la plante. Une activité biologique élevée dans le sol favorise la transformation des éléments nutritifs liés à la matière organique. Elle peut aussi conduire à une augmentation du risque de lessivage de l'azote.

Les quantités d'azote à disposition dans les exploitations biologiques sont souvent restreintes. Des informations com-

plémentaires concernant l'utilisation des engrais dans ces conditions sont données au chapitre 7.3.

Les légumineuses stimulent la dynamique de l'azote en relation avec le site

- Les légumineuses des prairies et des cultures intercalaires constituent la source principale de l'azote des exploitations biologiques. Une partie importante de l'azote des protéines du fourrage est éliminée par l'urine des animaux et devient ainsi, sous forme de purin, de l'azote rapidement disponible.
- Les sources d'azote à effet lent pour les plantes sont les engrais organiques, les résidus de récolte, les ensemencements de légumineuses, les composts et la matière organique du sol. Pour éviter de fortes pertes indésirables d'azote, les amendements organiques doivent être appliqués régulièrement à dose modérée. Seul le jeune matériel vert stimule la minéralisation de l'azote. A partir du stade épiaison, un mulch de graminée peut entraîner une fixation temporaire de l'azote.
- La planification soigneuse du retournement des prairies prend une importance majeure pour utiliser efficacement l'azote des résidus de racines. Dans la mesure du possible, il faut éviter le retournement en automne. Au prin-

temps, le mulching de jeunes prairies avant le retournement augmente la vitesse de minéralisation de l'azote.

Les engrais de ferme permettent d'apporter de l'azote au bon moment et au bon dosage selon les cultures

- En culture biologique, les engrais de ferme sont souvent un peu justes; la charge en bétail y est fréquemment inférieure à celle des autres modes d'exploitation.
- Un **volume suffisant de stockage du lisier** (valable pour 5-6 mois, également en plaine) est essentiel pour pouvoir l'utiliser aux moments les plus favorables pour la plante et l'écologie.
- La **préparation des engrais de ferme** n'est plus primordiale aujourd'hui. Grâce à leurs multiples possibilités d'utilisation, le **fumier composté** et le **compost de fumier** sont intéressants en cultures fourragères et en grandes cultures. Comparées au fumier au tas cependant, les pertes d'azote qui surviennent lors du compostage sont plus élevées (voir tabl. 41). Elles sont partiellement compensées par une meilleure efficacité de l'azote provenant du fumier composté. Par ailleurs, comparé au fumier au tas, le compost de fumier, utilisé en grandes cultures, a entre autres l'avantage de faciliter la lutte mécani-

Teneurs (kg/t de matière fraîche)

MS	MO	N _{total}	N _{sol} ¹	N _{disp} ²	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	Ca
57	26	2,5	1,0	1,0-1,5	3,5 ⁴	0,2	0,3	3,3
260	120	9,7	2,1	2,9-4,8	16	0,5	1,0	15
400	100	8,4	1,0	2,1-3,3	16	0,6	1,4	88
930	420	33	1,4	8-10	58	1,9	4,7	54
500	210	7	0,1	0,4-0,7	4	5,7	3,1	28

¹ Azote disponible (principalement ammonium), rapidement utilisable par la plante mais sujet aussi au risque de pertes (évaporation de l'ammoniac et dénitrification après nitrification).

² Azote disponible. Voir définitions du tableau 62 et petites notes 1 à 3 du tableau 46.

³ Poids volumique, environ 1000 kg/m³.

⁴ Ces valeurs sont valables pour des installations qui précipitent le phosphore. Sans précipitation du phosphore, la teneur moyenne est de 2,7 kg/t de matière fraîche.

⁵ Poids volumique environ 900 kg/m³.

⁶ Compost de déchets biogènes (déchets organiques de ménages et de jardins). Valeur moyenne provenant de différentes préparations (compost frais, compost mûr, compost fait au champ, etc.). Poids volumique 500-800 kg/m³.

que contre les mauvaises herbes et de réduire la pression de différents agents pathogènes liés au sol. Aujourd'hui, peu d'exploitations biologiques aèrent encore leurs lisiers. Les avantages de l'aération sont une réduction des brûlures sur les plantes et une diminution des odeurs. Les inconvénients de la préparation des engrais de ferme sont une augmentation de la charge en travail et/ou des coûts.

- Pour améliorer la structure du sol et en maintenir le taux de matière organique, il faut apporter 10-20 t/ha de fumier par année en grandes cultures. L'efficacité de l'azote est meilleure en culture fourragère qu'en grandes cultures.
- Le lisier doit d'abord être appliqué dans les périodes durant lesquelles le potentiel de minéralisation de l'azote du sol est fiable (printemps) et/ou au moment où les cultures ont un besoin momentané d'azote important. Les apports uniques d'azote (dilution 1:2 à 1:3) sont limités à 30-40 m³/ha.

Utilisation des engrais du commerce

- En cultures biologiques, le solde des bilans de fumure est souvent négatif. Pour ce qui concerne l'azote, la comparaison entre production et besoins est difficile, car la fixation de l'azote (N input) liée à une plus forte proportion de

légumineuses dans la rotation et les herbages n'est prise qu'indirectement en considération dans la production d'engrais de ferme.

- Pour assurer à long terme la nutrition des plantes en P, K et Mg, il faut surveiller ces éléments dans le sol tous les 4 ans. En cas de besoin, des engrais du commerce peu solubles, conformes à la culture biologique, peuvent être utilisés (voir liste des matières auxiliaires de l'IRAB).
- L'achat de petites quantités d'engrais azotés organiques coûteux ne se justifie en général que pour les cultures maraîchères qui ont une valeur ajoutée élevée.
- En culture biologique, on renonce à l'utilisation d'engrais P et K solubles ainsi qu'aux engrais azotés de synthèse.

14. FUMURE ET ENVIRONNEMENT

14.1 La fumure fait partie du cycle des éléments nutritifs

Grâce à la fertilisation, les éléments qui sont prélevés par la production végétale sont rendus au sol. Ce sont prioritairement les engrais de ferme (fumier, purin) et les déchets de récolte qui assurent cette restitution et contribuent à fermer le cycle interne des éléments fertilisants. Les éléments fertilisants provenant de l'extérieur de l'exploitation sont réservés pour couvrir d'éventuelles différences entre les besoins et les fournitures internes à l'exploitation. Pour maintenir la fertilité du sol à long terme et réduire les charges sur l'environnement, il faut que le cycle des éléments interne à l'exploitation soit fermé (voir fig. 1), c'est-à-dire que le bilan des fertilisants soit équilibré. Cela signifie que les entrées dans le plan de fumure ne dépassent pas les besoins des plantes. C'est pour cette raison que la charge en bétail d'une exploitation est définie par les besoins en fertilisants du plan de fumure. Il va de soi que les caractéristiques du site doivent également être prises en compte, tout comme la richesse du sol et la capacité de prélèvement des cultures. Dans les exploitations intensives de plaine par conséquent, de plus grandes quantités d'éléments fertilisants sont transformées que dans les exploitations de montagne.

14.2 Aperçu de l'aptitude potentielle des engrais à assurer une fumure dirigée, économique et respectueuse de l'environnement

Selon ses caractéristiques spécifiques, chaque type d'engrais présente un risque potentiel différent pour l'environnement. Chaque engrais demande également un investissement spécifique pour être stocké et épandu de manière à respecter le milieu. Le *tableau 49* donne un aperçu sur ce sujet. Le potentiel de charge sur l'environnement des engrais de ferme et des engrais de déchets est clairement démontré. Comme les engrais de ferme sont issus de la production animale, le moyen plus évident pour épargner l'environnement est de les utiliser 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 fourra-

Tableau 49. Risque potentiel présenté par différents engrais pour l'environnement et coût de la charge pour le sol, l'eau et l'air.

Dans ce tableau, les limites du système ont été fixées au niveau de la fosse à purin, du tas de fumier, respectivement de l'exploitation. Le risque potentiel pour l'environnement lié à l'étable pour les engrais de ferme, à la fabrication et au transport pour les engrais à base de déchets et les engrais minéraux, n'ont pas été pris en considération. Pour toutes ces données, on part du principe que tous les engrais sont appliqués de manière optimale quant à la quantité et au moment d'application.

Tableau 50. Mesures contre les pertes par lessivage et/ou lixiviation.

ges, stockage, moments et techniques d'épandage). Ce ne sont pas les engrais de ferme en eux-mêmes qui représentent un risque potentiel pour l'environnement, mais la quantité utilisée. Lorsque la production d'engrais de ferme par unité de surface augmente, la charge sur l'environnement augmente de manière encore plus importante. C'est pourquoi la charge en bétail doit impérativement être adaptée à la production de fourrage. Par hectare de terre ouverte, la charge maximale en engrais de ferme ne devrait pas dépasser 1 UGB, ou la production de N et/ou de P équivalente à une UGB pour une autre catégorie d'animal. Sur les surfaces fourragères intensives et mi-intensives, cette valeur se situe vers 2 UGB (avec une gradation correspondant au potentiel de production du site).

Type d'engrais	Charge potentielle pour	
	Nappe phréatique ¹	Eau de surface ²
Purin/Lisier	3	3
Fumier	3	2
Boues d'épuration liquides	3	3
Compost	2	2
Engrais min. N ⁵	2	1
Engrais min. P ⁵	1	1
Engrais min. K ⁵	2	1
Engrais min. Mg ⁵	1	1
Engrais min. S ⁵	2	1

Paramètres	Critères d'évaluation
Conditions météo	Précipitations de forte intensité ou de longue durée
Perméabilité et capacité de rétention du sol	a) Répartition et forme des pores: - grande perméabilité, pores grossiers, sols crevassés, drainages artificiels - perméabilité limitée, pores fins, risques d'engorgement - perméabilité normale, pores moyens b) Capacité de rétention des pores: - sol sans capacité de rétention, saturé d'eau - sol avec capacité de rétention de 3-5 cm - sol avec bonne capacité de rétention, plus de 5 mm
Profondeur physiologique du sol	a) Profondeur physiologique insuffisante (moins de 30 cm) b) Profondeur physiologique insuffisante (30-50 cm) c) Profondeur physiologique bonne à très bonne (plus de 50 cm)
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 réduite: - 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 %
Besoins des plantes	a) Besoins en éléments fertilisants immédiats ou à court terme b) Pas de besoins en él. fertilisants: - Grandes cultures - Prairies

		Critères techniques et économiques de l'investissement		
Air ³	Sol ⁴	Coût pour le stockage et la manipulation	Coût pour un épandage précis	Coût et limitations liés à un épandage épargnant l'environnement ⁶
3	3	3	3	3
2	2	2	2	3
3	3	1	2	3
2	2	1	2	2
2	1	1	2	2
0	2	1	2	1
0	1	1	2	1
0	1	1	2	1
0	1	1	2	1

Echelle d'appréciation: 0=pas de charge, 1=relativement minime, 2=moyenne, 3=relativement élevée.

¹ Charge en nitrates, chlore, sulfates, etc., hygiène.

² Charge en phosphore et azote, hygiène.

³ Ammonium, gaz hilarant.

⁴ Substances dangereuses, charge physique.

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

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

Risque de pertes par lessivage; charge admissible d'engrais organiques liquides	Mesures concernant l'épandage d'engrais, dose maximale par apport
très élevé; charge nulle	Ne pas épandre
élevé; charge faible à nulle	jusqu'à 25 m ³ /ha
moyen; charge restreinte	jusqu'à 40 m ³ /ha
moyen; charge normale	jusqu'à 60 m ³ /ha ¹
très élevé; charge nulle	Ne pas épandre
moyen; charge restreinte	jusqu'à 40 m ³ /ha
modéré; charge normale	jusqu'à 60 m ³ /ha ¹
élevé; charge faible	jusqu'à 25 m ³ /ha
moyen; charge restreinte	jusqu'à 40 m ³ /ha
modéré; charge normale	jusqu'à 60 m ³ /ha ¹
élevé; charge faible	jusqu'à 25 m ³ /ha
moyen; charge restreinte	jusqu'à 40 m ³ /ha
modéré; charge normale	jusqu'à 60 m ³ /ha ¹
modéré; charge normale	Apports en quantités adaptées selon les normes de fumure
très élevé; charge nulle	jusqu'à 25 m ³ /ha
élevé; charge faible	ne pas épandre

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

14.3 Dispositions pour éviter les pertes en éléments fertilisants

Les pertes en fertilisants sont un manque à gagner pour l'agriculteur et une charge sérieuse pour l'environnement. Les principales sources de pertes sont la lixiviation, l'érosion et la volatilisation. Ces pertes qui portent préjudice à l'environnement interviennent aussi sans lien avec l'agriculture. Des pertes d'azote peuvent par ailleurs être provoquées par une dénitrification incontrôlable (activité des micro-organismes du sol). Dans ce cas, les nitrates sont transformés en substances azotées gazeuses. Le risque de pertes augmente lorsque la fertilisation n'est pas réalisée de manière adéquate. Une réduction ciblée de la dénitrification engendre à long terme une augmentation des quantités d'azote du sol et de l'eau incompatibles avec le principe du maintien d'une fertilité durable du sol. Les risques de pertes peuvent être réduits par la prévision de capacités de stockage suffisantes pour les engrais de ferme (tabl. 47), qui permet d'épandre le fumier et le purin au moment opportun.

14.3.1 Lessivage et lixiviation

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'entraînement en profondeur portent préjudice à la qualité de l'eau de la nappe phréatique. Par des techniques culturales appropriées, il est possible de diminuer sensiblement les risques de pertes par lixiviation (tabl. 50).

14.3.2 Entraînement par ruissellement et écoulement superficiel

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, lorsque les conditions de sol et de climat sont défavorables, les engrais liquides peuvent ruisseler en surface. Le tableau 51 montre en matière de fumure quelles sont les précautions qui permettent de prévenir ce risque.

Tableau 51. Mesures contre les pertes dues au ruissellement.

Paramètres	Critères d'évaluation
Conditions météo	Pluie persistante ou orage imminent
Conditions d'infiltration	a) Sol non cultivé: - capacité d'infiltration réduite (terre compactée, croûtée, colmatée, saturée d'eau, fortement gelée) - bonne capacité d'infiltration (terre meuble, ressuyée, surface rugueuse) b) Sol cultivé: - capacité d'infiltration réduite (terre compactée, saturée d'eau, fortement gelée) - bonne capacité d'infiltration (terre meuble, ressuyée, surface rugueuse) c) Couche de neige: - neige sèche très froide - neige fondante
Conditions topographiques	Pente jusqu'à 18 % avec ou sans couvert végétal Pente de 19 à 35 % avec ou sans couvert végétal Pente de 36 à 50 % avec couvert végétal Pente de plus de 50 % avec couvert végétal

Risque de pertes par érosion; charge admissible d'engrais organiques liquides	Mesures concernant l'épandage d'engrais, dose maximum par apport ¹
très élevé; charge nulle	Ne pas épandre
très élevé; charge nulle	Ne pas épandre
moyen à modéré; charge restreinte à normale	jusqu'à 40 - 60 m ³ /ha ¹
très élevé; charge nulle	Ne pas épandre
modéré; charge normale	jusqu'à 60 m ³ /ha ¹
très élevé; charge nulle	Ne pas épandre
très élevé; charge nulle	Ne pas épandre
modéré; charge normale	jusqu'à 60 m ³ /ha ¹
moyen; charge restreinte	jusqu'à 40 m ³ /ha
élevé; charge faible	jusqu'à 25 m ³ /ha
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.

14.3.3 Volatilisation

Certaines molécules azotées, en particulier l'ammonium (NH_4), se volatilisent dans l'air sous forme d'ammoniac (NH_3). Par la suite, ces combinaisons sont en majeure partie redéposées. Certains écosystèmes sensibles peuvent être endommagés par ces apports atmosphériques (surfumure, pollution). En outre, ces combinaisons influencent divers processus indésirables dans l'atmosphère et contribuent à l'acidification du sol. La réduction des pertes d'ammoniac est intéressante pour l'exploitation puisqu'il reste plus d'azote à disposition des plantes. Pour réduire ces pertes à l'étable et lors du stockage des engrais de ferme, il faut diminuer les surfaces sales et couvrir les containers à purin. Toutefois, c'est après l'épandage des engrais de ferme que les plus grosses pertes d'ammoniac ont lieu. Les mesures qui permettent de réduire ces pertes sont résumées dans le *tableau 52*. En plus de certaines précautions, comme la dilution du purin et un enfouissement immédiat des engrais de ferme par le labour, il est possible de réduire les pertes en ammoniac par des techniques d'application particulières (rampe à tuyau souple, répartiteur localisateur, enfouisseur).

14.4 Conséquences d'une surfumure

Si, durant plusieurs années, pour un élément, les apports sont supérieurs aux exportations, le sol s'enrichit en cette substance ou celle-ci se perd dans l'eau et/ou l'atmosphère. Un fort enrichissement peut avoir des conséquences négatives comme un mauvais équilibre entre les éléments fertilisants du sol, des plantes avec des teneurs indésirables qui portent préjudice à la qualité des produits (par exemple des nitrates ou du potassium) et posent des problèmes de santé pour l'homme et les animaux, une composition botanique des prairies qui se modifie (invasion de mauvaises herbes, appauvrissement de la diversité, etc.) et, enfin, le risque accru de pertes en éléments fertilisants.

14.5 Substances dangereuses et agents pathogènes

Par la fertilisation, des substances dangereuses peuvent également être apportées dans le sol et s'y accumuler. Il faut faire particulièrement attention avec les apports de métaux lourds. Ces métaux lourds ne proviennent pas seulement des engrais de déchets, mais aussi des engrais

Tableau 52. Mesures contre la volatilisation et réduction des pertes d'ammoniac.

Paramètre	Conditions
Conditions météorologiques	Température de l'air élevée, air sec, vent Frais, humide, sans vent Pluie durant l'épandage
Degré de dilution du purin ou du lisier	Non dilué Moyennement dilué, jusqu'à 1:1 ¹ Fortement dilué, jusqu'à 1:2 ¹
Etat du sol	Surface du sol saturée d'eau, desséchée, compactée, engorgée, encroûtée, Sol humide 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
Technique d'épandage	Epandage large Application localisée Enfouissement dans le sol ²

de ferme (principalement le cuivre et le zinc dans le purin de porc) et des engrais minéraux (par exemple le cadmium des engrais phosphatés). Les prescriptions qui figurent dans le livre des engrais et les valeurs limites dans l'annexe 4.5 de l'ordonnance sur les substances dangereuses ont entre autres pour objectif de minimiser la charge de ces produits dans le sol et dans les récoltes. L'effet de l'accumulation dans le sol de micropolluants organiques dangereux et de substances ressemblant aux hormones n'est pas encore bien connu. Ces dernières proviennent aussi partiellement des engrais de déchets. Des agents pathogènes peuvent également être apportés au sol par les engrais de ferme et les engrais à base de déchets et y survivre durant plusieurs mois. Le stockage du lisier, la pasteurisation des boues d'épuration et l'échauffement lors du compostage permettent, la plupart du temps, de les rendre inoffensifs.

Risque	Mesures pour réduire les pertes d'ammoniac	
	Lisier, purin ou boues d'épuration liquides	Fumier
Elevé Modéré 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 Epandre juste avant ou durant une faible pluie (attention au ruissellement)
Elevé Moyen Faible	Lisier de bovin: dilué: au moins 1:1, mieux 1:2 ¹ Purin, lisier de porc: dilué au moins 1:2, mieux 1:3	
Elevé Faible à moyen	N'appliquer que sur des sols ayant une bonne capacité d'absorption	
Elevé Moyen à élevé Moyen	Déchaumage avec injection simultanée ou déchaumer avant l'épandage du purin/lisier (tonne à purin avec dispositif d'incorporation; apport de purin dans le maïs après sarclage dans les interlignes; diluer suffisamment le purin	
Elevé Moyen Faible	Répartiteur large (déflecteur, déflecteur inversé, répartiteur à buse pivotante, etc.) Rampe à tuyaux souples, rampe à tuyaux souples avec 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.

14.6 Résumé des recommandations pour une fumure ménageant l'environnement

Une fumure dirigée respectueuse de l'environnement garantit le maintien de la fertilité à long terme du sol, maîtrise les pertes et les frais d'engrais évitables et contribue à ne pas charger les eaux de surface et la nappe phréatique. Il est sans doute difficile de pratiquer une fumure qui remplisse simultanément toutes les conditions permettant de protéger l'environnement. C'est le devoir de tout agriculteur d'arriver à programmer la fumure de son domaine, en fonction de son expérience, avec l'aide de la vulgarisation et selon les moyens à disposition, pour qu'elle soit appliquée au bon moment, qu'elle corresponde aux besoins des plantes, aux conditions du site et du climat. Il faut aussi se rappeler que des mesures qui réduisent les pertes potentielles (par érosion, par exemple) augmentent par ailleurs d'autres risques (par exemple l'évaporation d' NH_3).

Les principales dispositions qui permettent de contribuer à protéger l'environnement sont les suivantes:

- Respecter une charge en bétail adaptée au site.
- Gérer la fertilisation en tenant compte de la rotation des cultures et des résultats d'analyses de terre (plan de fumure).
- Prendre en compte prioritairement les fertilisants provenant du bétail, c'est-à-dire des engrais de ferme. Les fertilisants provenant de l'extérieur (engrais de ferme de tiers, boues d'épuration, compost, engrais minéraux) ne servent qu'à compléter le manque éventuel par rapport aux besoins.
- Ajuster le moment et la dose d'engrais le plus précisément possible à la croissance de la plante (plan de fumure).
- Éviter les apports d'engrais en dehors de la période de végétation (prévoir une capacité de stockage suffisante pour le purin et le fumier).
- Adapter le type d'engrais et l'importance des apports fractionnés aux besoins des plantes et aux caractéristiques du milieu (type de sol, topographie, etc.).
- Appliquer de l'engrais uniquement lorsque le sol est capable de l'absorber (éviter les sols saturés d'eau, fortement compactés, battants, couverts de neige ou gelés).
- Épandre le purin/lisier, le fumier et les boues d'épuration par temps frais et modérément venteux (température en dessous de 15 °C et humidité relative de l'air supérieure à 70% durant l'épandage et les

24 heures qui suivent, si possible). En grandes cultures, il faut autant que possible travailler le sol avant l'épandage des engrais ou les incorporer rapidement.

- Éviter de laisser le sol sans couverture (prévoir une culture intercalaire, un engrais vert, un semis sous litière, etc.).

15. FUMURE ET QUALITÉ DES PRODUITS

La qualité d'un produit récolté comporte un aspect externe (forme, taille, couleur etc.) et un aspect interne, caractérisé principalement par sa teneur en certaines composantes: protéines, sucres, vitamines, éléments minéraux, etc. L'optimisation de la fumure vise aussi à optimiser la qualité. Une fertilisation sur- ou sous-estimée engendre souvent une augmentation ou une diminution des teneurs dans le produit récolté. Des exemples classiques sont l'augmentation de la teneur en protéines des céréales provoquée 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. 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 et de l'eau, qui exige de maîtriser les pertes en éléments fertilisants.

Dans certains cas, la fumure peut modifier la teneur de certaines substances du produit récolté de manière ciblée. On utilise alors volontiers l'expression fumure de qualité. Ainsi, par exemple, un apport d'azote après l'épiaison sur une céréale influence davantage la teneur en protéines du grain que le rendement. De plus, la teneur en azote de la paille augmente de manière significative et son rapport C/N est modifié, ce qui signifie que la paille se décompose mieux lorsqu'elle est enfouie et améliore ainsi la qualité du fumier.

16. PRATIQUE DE LA FERTILISATION

16.1 Plan de fumure

Faire son plan de fumure annuel de manière consciencieuse constitue le meilleur moyen de répondre aux multiples exigences et conditions marginales d'une fertilisation rationnelle, ciblée, qui tienne compte des nécessités de la culture 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.

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

1. Etablir une liste de toutes les parcelles (nom et surface) avec les cultures en place ou à venir.
2. Saisir et interpréter les résultats d'analyses de sol, en déterminant les facteurs de correction de la norme de fumure pour chaque parcelle, ainsi que la norme pour chaque culture.
3. Calculer la norme corrigée pour chaque parcelle (culture).
4. Répartir sur les surfaces, dans le temps, les engrais de ferme, puis compter les quantités d'éléments fournies par les engrais de ferme en fonction de leurs caractéristiques, pour chacune des cultures.
5. Ajouter la valeur fertilisante des déchets de récolte ou d'éventuelles fumures P, K ou Mg provenant des engrais verts.
6. Calculer la différence entre les besoins des cultures (point 3) avec les apports des engrais de ferme (point 4) et des résidus de récolte (point 5).
7. Choisir les engrais à acquérir (engrais de ferme provenant d'autres exploitations, boues d'épuration, composts, engrais minéraux) pour couvrir la différence trouvée au point 6, en tenant compte des aspects écologiques, pédo-logiques, agronomiques, techniques, économiques et juridiques (chapitre 18.4).
8. Calculer les quantités d'engrais à acquérir.

Lorsqu'on veut se servir d'un plan de fumure informatisé, il est important, avant de s'y mettre, de s'informer sur son contenu (données de base) et sur le programme de calcul utilisé.

16.2 Choix des engrais

Le choix des engrais devrait être principalement géré par des impératifs techniques, en relation avec les exigences du sol et des plantes. 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 caracté-

Tableau 53. 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

Impasse: renoncement à tout apport d'engrais minéral parce que les besoins de la culture envisagée sont largement couverts par les restitutions de la culture précédente, par les réserves du sol ou, le cas échéant, par la fumure organique et la déduction anticipée des résidus de récolte de la culture à venir (par exemple avec le tournesol).

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

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
Satisfaisant	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.

ristiques du sol qui permettent le stockage des éléments nutritifs sous 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 55 à 58 donnent les caractéristiques et les effets des différentes formes des éléments fertilisants des engrais.

16.3 Possibilités d'impasse sur la fumure minérale P, K et Mg

Lors de l'établissement du plan de fumure de certaines parcelles, il se peut que la quantité d'engrais à appliquer soit faible, donc difficile à épandre du point de vue technique. Le tableau 53 indique la manière de procéder dans ces cas de figure.

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 d'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, tabl. 6). 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 pour faire le bilan des éléments fertilisants

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

Le *bilan entrée/sortie* compare les éléments fertilisants apportés sous forme d'agents de production à ceux qui ressortent de l'exploitation sous forme de produits. Cette méthode ne donne pas d'indications sur l'ampleur et l'intensité des mouvements d'éléments à l'intérieur de l'exploitation. Ainsi, elle n'est pas direc-

tement comparable à un plan de fumure. De plus, sa valeur de prédiction en ce qui concerne l'azote est particulièrement problématique (fixation, perte, etc.).

Le *bilan production/besoins* consiste à comparer la production d'engrais propre à l'exploitation plus ceux qui sont acquis hors de l'exploitation avec les besoins en fertilisants des plantes, compte tenu de la richesse du sol. Ce bilan est basé sur les mêmes principes et valeurs que le plan de fumure (chapitre 16.1); il peut donc être comparé à ce dernier.

Pour les prestations écologiques requises, dans le cadre de l'Ordonnance sur les paiements directs (chapitre 18.4), les centrales de vulgarisation (SRVA/LBL) disposent d'un formulaire «Appréciation de l'équilibre de la fumure» pour l'élaboration d'un tel bilan. Le fait de renoncer à prendre en compte les teneurs en éléments fertilisants du sol (N, P, K et Mg) réduit nettement la valeur de ce bilan. De plus, il faut ajouter que l'appréciation de l'équilibre de la fumure au niveau de l'exploitation ne fournit pas d'informations sur la fertilisation individuelle de chaque parcelle.

17. TECHNIQUE D'ÉPANDAGE POUR LES ENGRAIS MINÉRAUX, LES ENGRAIS DE FERME ET LES ENGRAIS À BASE DE DÉCHETS

Le tableau 54 donne une vue d'ensemble des principaux systèmes d'épandage et de répartition pour les engrais minéraux, les engrais de ferme et les engrais à base de déchets. La précision du dosage et de la répartition joue un rôle essentiel pour adapter la fertilisation aux exigences des plantes et de l'environnement. Il est important de ménager suffisamment le sol pour pouvoir appliquer les engrais au moment idéal où les plantes en ont besoin. Lors de l'épandage du lisier, le système de répartition a une nette influence sur les pertes d'azote dues à la volatilisation de l'ammoniac.

Au niveau de l'application des engrais minéraux, la tendance croissante est aux distributeurs centrifuges à deux disques avec des largeurs de travail jusqu'à 36 m. Les distributeurs pneumatiques, par contre, se rencontrent de moins en moins dans la pratique. Les propriétés physiques de l'engrais peuvent significativement influencer la précision de la distribution. C'est pourquoi il est impératif de régler les distributeurs d'engrais centrifuges à l'aide du tableau de débits et d'effectuer un contrôle de ce débit. L'application d'engrais minéraux sous forme liquide au pulvérisateur ne se fait que rarement dans les exploitations de grandes cultures. On utilise normalement des engrais azotés et des engrais azotés et phosphatés.

Pour l'épandage du lisier, l'agriculteur a le choix entre un grand nombre de systèmes permettant de répartir le lisier avec une haute précision et de réduire les pertes lors de l'épandage. Les rampes d'épandage à tuyaux souples se distinguent des distributeurs larges par leur haute précision, des pertes d'ammoniac peu élevées et de faibles résidus de lisier sur les plantes. L'application ciblée de lisier est nettement plus exigeante en grandes cultures (largeurs de travail importantes, haute précision de répartition, réduction des pertes d'azote) qu'en cultures fourragères. La combinaison d'un arroseur automatique avec une rampe à tuyaux souples offre la meilleure qualité de répartition. Toutefois, les coûts de ces systèmes sont relativement élevés.

Tableau 54. Evaluation de différents systèmes d'épandage pour les engrais minéraux, les engrais de ferme et les engrais à base de déchets.

Pour l'application de fumier, la difficulté est notamment d'épandre la quantité voulue sur toute la parcelle, le plus régulièrement possible. Dans les prairies et les pâturages, l'épandage précis de quantités inférieures à 15 t par ha est particulièrement important pour ne pas entraver la décomposition du fumier. Dans les exploitations de cultures fourragères, il est donc préférable d'utiliser des épandeurs à fumier avec des hérissons verticaux et un entraînement hydraulique du fond mouvant à faible avancement. Dans les régions de montagne, les épandeurs à projection latérale restent toujours très répandus.

Pour l'épandage des engrais solides à base de déchets, on utilise plus fréquemment des épandeurs spéciaux qui se distinguent par des dispositifs à assiettes, une capacité élevée et une construction solide (cuve, châssis, essieu). Pour l'application occasionnelle d'engrais à base de déchets, les épandeurs à fumier avec des hérissons verticaux ou à projection latérale sont également appropriés.

Aujourd'hui, la plus grande partie des engrais liquides à base de déchets sont directement répartis sur les champs par des entreprises de transport équipées de systèmes adéquats performants qui ménagent le sol.

Technique d'épandage	Système/dispositif d'épandage
<i>Engrais minéraux:</i>	
Distributeur centrifuge	Distributeur centrifuge à 1 ou 2 disques Distributeur à tube oscillant
Distributeur de précision à rampe Pulvérisateur	Distributeur pneumatique Buses à trois filets
<i>Lisier et boues d'épuration liquides:</i>	
Citerne	Défecteur Répartiteur pendulaire Rampe à tuyaux souples Enfouisseur
Purinage par tuyau	Défecteur Répartiteur à buse pivotante Rampe à tuyaux souples
Arroseur automatique	Canon d'arrosage Rampe multi-buses Rampe à tuyaux souples
<i>Fumier:</i>	
Epandeur à fumier	Hérissons horizontaux Hérissons verticaux Epandeur à projection latérale Epandeur à assiettes
<i>Engrais à base de déchets (solides):</i>	
Epandeur à fumier	Hérissons verticaux Epandeur à projection latérale
Epandeur à compost Epandeur polyvalent Distributeur d'engrais centrifuge	Dispositif à 2 ou 4 assiettes Dispositif à 2 disques Distributeur centrifuge à 2 disques

Convient à l'épandage de:				Evaluation concernant: ¹				
				Dosage/ répartition	Pertes d'am- moniac	Ménage- ment du sol	Travail en pente	Frais de machines
granulés	poudre	liquide						
x	x			2	1 ²	1	1	1
x	x			2	1 ²	1	1	1
x				1	1 ²	1	2	3
		x		1	1	1	2	2
Lisier	Boues d'épuration							
x	x			3-4	3 ³	3	3	1
x	x			2	3 ³	3	3	1
x	x			1	2	3	4	3
x	x			1	1	4	4	4
x	x			3-4	3 ³	1	1	2
x	x			2	3 ³	1	1	2
x	x			1	2	1	3	3
x	x			4	4 ³	1	3	3
x	x			2	3 ³	1	3	4
x	x			1	2	1	3	4
Fumier								
x				4	3	4	3	2
x				3	3	3	3	2
x				3	3	2	2	3
x				2	3	2	3	3
Compost/ matériel haché	Boues d'épuration déshydratées	Boues d'épuration séchées	Chaux d' Aarberg					
(x)	(x)			3	5	3 ⁴	3	2
x	x	(x)	x	3	5	2 ⁴	2	3
x	x	(x)		2	5	2 ⁴	3	3
		x	x	1	5	2 ⁴	3	4
		x		1	5	1	2	2

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 suivant immédiatement l'épandage.

⁴ Dépend de la dimension des pneus et de la taille de l'épandeur.

⁵ Le type d'engrais (forme et composition) est plus important que la technique d'épandage.

18. Annexes

18.1 Caractéristiques des différentes formes des éléments fertilisants et des engrais

Tableau 55. Caractéristiques de la forme des éléments fertilisants.

Elément	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 même 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)
Phos- phate	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 citrate d'ammoniaque (ex. phosphate bicalcique)	Effet partiellement rapide et lent	Utilisation jusqu'à pH 6,6 en sol pauvre et pH 7,5 en sol satisfaisant
	Soluble dans l'acide citrique (ex. Scories Thomas, Scorial, poudre d'os)	Effet lent Léger effet calcifiant Maintient le pH dans les sols faiblement acides	Utilisation jusqu'à pH 6,2 en sol pauvre et 7,5 en sol satisfaisant
	Phosphate naturel (ex. hyperphosphate)	Effet très lent	Utilisation jusqu'à pH 5,9 en sol pauvre et 6,5 en sol satisfaisant
Potasse	Chlorure de potassium (ex. sels de potasse)	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
	Sulfate de potasse (ex. sulfate de potasse, potasse magnésienne)	Soluble dans l'eau, effet rapide Acidifie légèrement le sol Contient 15-20% de soufre	A utiliser dans les cultures sensibles au chlore A utiliser dans les cultures nécessitant des apports de soufre A utiliser dans les cultures préférant un milieu acide
	Nitrate de potasse	Soluble dans l'eau Effet rapide	Approprié pour les pulvérisations foliaires Engrais particulièrement indiqué pour des cas spéciaux (légumes, tabac)
Magné- sium	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 (apport 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	Utiliser pour lever les carences dans les sols acides Fertilisation de maintien 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
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 56. 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 chaulant 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	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 57. 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'Epson), fumure foliaire 10-20 kg dans 1000 l d'eau	13

Tableau 58. Influence des engrais sur le pH du sol.

Effets acidifiants	Effets neutres ou alcalinisants
Sulfate Engrais ammoniacaux Urée Superphosphate, supertriple Purin bovin	Cyanamide calcique Scories Thomas, Scorilor Hyperphosphates Purin de porc Boues d'épuration Engrais calciques (voir tabl. 55)

18.2 Teneur en éléments nutritifs des produits végétaux et animaux

Tableau 59. Teneur 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.

Culture	Produit	Teneur en MS (%)	Exportation (kg/t)				
			N ¹	P ₂ O ₅ ²	K ₂ O ³	Mg ⁴	Ca ⁵
Céréales et maïs							
Blé d'automne	Grain	85	15-25	7,5-10	3,5-5,5	0,8-1,2	0,3-0,5
	Paille	85	3-7	1,0-3,0	7-15	0,6-1,0	2,0-4,0
Blé de printemps	Grain	85	18-26	7,0-9,8	3-5	1,0-1,4	0,2-0,4
	Paille	85	3-7	1,2-2,2	8-14	0,3-0,6	1,7-3,7
Orge d'automne	Grain	85	13-17	8-10	4,5-7,5	0,8-1,2	0,4-0,6
	Paille	85	3-6	1,8-2,8	12-24	0,2-0,6	2,0-5,0
Orge de printemps	Grain	85	10-16	7-9	5-7	0,9-1,3	0,4-0,8
	Paille	85	3-7	1,8-2,6	16-24	0,2-0,6	2,2-4,2
Avoine aut. et print.	Grain	85	13-19	7-9	4-6	0,9-1,3	0,6-1,0
	Paille	85	3-7	2,3-3,1	18-24	0,6-1,2	2,2-4,2
Seigle / Epautre	Grain	85	14-18	7-9	4-6	0,9-1,3	0,4-0,6
	Paille	85	3-7	2-3	10-14	0,8-1,2	2,5-3,5
Triticale	Grain	85	15-20	7-11	5-7	0,8-1,2	0,3-0,7
	Paille	85	5-10	1,5-3,5	10-15	0,6-0,9	1,75-2,75
Amidonner, engrain	Grain	85	17-27	6-10	4-6	0,8-2,0	0,2-0,5
	Paille	85	3-5	2-4	7-11	0,4-0,8	1,4-2,2
Maïs grain	Grain	85	11-15	4-8	4,0-5,6	0,6-1,4	0,1-0,3
	Paille	85	4-8	2,4-4,4	14-30	0,7-1,9	2,0-6,0
Maïs silo	Plante entière	100	10-15	4-7	10-21	0,9-1,5	1,8-2,8
Maïs vert	Plante entière	100	14-24	5,5-7,5	22-32	0,8-1,2	2,4-4,4
Tubercules et racines							
Pommes de terre (consommation, industrielles)	Tubercules	22	2,2-3,8	1-2	4-6	0,16-0,24	0,1-0,3
	Fanes	14	0,9-1,9	0,3-0,7	4-9	0,2-0,5	2,0-4,4
Pommes de terre (plants, primeurs)	Tubercules	18	1,7-2,9	1-2	4-6	0,16-0,24	0,1-0,3
	Fanes	8	2,5-4,1	0,5-0,9	4-10	0,3-0,8	1,5-4,0
Betteraves sucrières	Racine	22	1,7-2,5	0,6-1,0	2,0-3,2	0,22-0,42	0,4-0,6
	Feuilles et collets	15	2-4	0,6-1,1	5-7	0,4-1,0	1,3-2,7
Betteraves fourragères	Racine	100	9-13	4-6	15-21	1,1-1,5	1,5-3,0
	Feuilles et collets	15	2,5-4,5	0,6-1,0	6-8	0,5-1,3	1,3-2,7
Oléagineux et plantes destinées à la production de fibres							
Colza	Grain	90	26-34	13-19	8-11	2,0-3,2	3,5-5,5
	Paille	85	5-10	3-4	14-18	1,0-2,0	12-16
Tournesol	Grain	85	28-35	9-13	7,2-9,6	2,3-3,7	4,5-5,3
	Paille	60	8-10	2,5-2,8	55-68	6,5-8,5	8-11
Chanvre oléagineux	Grain	90	40-52	20-30	7-15	4,1-6,7	1,8-3,0
	Paille	85	7-11	3-5	10-18	1-2	6-10

Culture	Produit	Teneur en MS (%)	Exportation (kg/t)				
			N ¹	P ₂ O ₅ ²	K ₂ O ³	Mg ⁴	Ca ⁵
Chanvre à fibre	Plante entière	85	7-13	5-8	14-20	1,5-2,0	5-10
Chanvre à fibre	Tige	85	2-4	2-4	7-11	0,3-0,7	6-12
	Grain et feuille	90	23-32	12-18	20-35	3-7	2-3
Lin oléagineux	Grain	90	45-64	9-15	7-12	0,3-0,7	1,2-2,8
	Paille	85	4-8	4-6	13-23	0,5-1,2	4-10
Lin à fibre	Tige	85	8-12	6-8	15-25	1-3	5-11
	Grain	90	45-64	9-15	7-12	0,3-0,7	1,2-2,8
Roseau de Chine	Tige et feuille	100	1,8-2,4	0,8-1,1	4,5-6,7	0,2-0,3	1,0-1,8
Kénaf	Tige et feuille	100	1,5-2,5	0,9-1,5	1,2-2,0	0,1-0,3	
Légumineuse à graines							
Pois protéagineux	Grain	85	30-40	8-12	10-14	0,9-1,5	0,9-1,3
	Paille	85	16-24	5-10	13-19	1,8-2,6	18-26
Féverole	Grain	85	30-50	11-17	10-18	2-3	0,9-1,1
	Paille	85	20-40	3-4	15-25	2,8-3,8	8-14
Soja	Grain	85	45-75	10-18	15-23	2,5-3,0	1,5-3,5
	Paille	85	25-45	10-15	20-40	5-8	8-12
Lupin blanc, doux	Grain	88	45-65	8-12	11-16	1,6-2,4	1,9-2,5
	Paille	85	25-45	3-5	15-25	3-5	8-14
Légumes de pleine terre							
Chou à choucroute	Tête	10	1,2-2,2	0,6-0,9	2,2-2,8	0,2-0,4	0,5-0,7
	Déchet	15	1,0-1,8	0,4-0,6	2,0-2,8	0,2-0,5	0,6-0,8
Chou de Bruxelles	Rosette	15	5,5-7,5	1,6-2,2	4,5-5,0	0,6-1,0	0,6-1,0
	Résidus	15	7-11	3-5	12-16	1,0-1,6	1,1-1,8
Chicorée-endive	Racine	30	1,9-2,5	0,9-1,5	4,0-5,2	0,5-0,9	0,5-0,9
	Feuille	10	1,6-2,0	0,3-0,4	3,0-4,2	0,5-0,8	2-3
Carotte de garde	Racine	12	0,9-1,3	0,4-0,8	3,2-4,2	0,1-0,2	0,3-0,4
	Feuille	10	1,9-2,8	0,5-0,8	4,8-5,6	0,2-0,4	2-4
Pois conserve	Grain	18	8-14	2-4	3-5	0,3-0,7	0,2-0,4
	Paille	22	3-5	0,9-1,3	4-6	0,4-0,6	3-5
Haricot	Gousse	10	3,5-4,5	0,9-1,4	2,7-3,5	0,2-0,3	0,3-0,4
	Feuille	10	5,5-7,5	0,8-1,2	3,7-4,5	0,1-0,2	4,0-5,5
Oignon	Bulbes	13	2,1-2,7	0,7-1,1	2,3-4,3	0,3-0,7	0,5-1,0
Epinard	Feuille	8	9-14	1,7-2,5	6,8-8,8	1,1-1,5	0,9-1,6
	Résidus	15	16-24	2-4	20-28	2-4	3-7
Cultures dérobées, engrais verts							
Cultures dérobées		100	24-32	8-11	25-45	2-3	10-15
Engrais vert		100	20-36	8-12	24-48	1,5-2,5	10-15

Culture	Produit	Teneur en MS (%)	Exportation (kg/t)				
			N ¹	P ₂ O ₅ ²	K ₂ O ³	Mg ⁴	Ca ⁵
Autres cultures							
Tabac Burley	Feuille	100	25-35	6,5-8,0	40-60	2,3-3,3	30-43
	Troncs	100	20-26	6,5-8,0	35-55	1,5-2,5	12-16
Tabac Virginie	Feuille	100	20-30	5-6	40-55	1,5-2,5	30-43
	Troncs	100	8-12	7,5-9,5	40-60	3,0-5,0	14-22
Prairies et pâturages							
	Prairie intensive	100	22-27 ¹	7-9 ²	24-40 ³	2-3 ⁴	8-12 ⁵
	Prairie mi intensive	100	16-23 ¹	6,5-8,5 ²	19-35 ³	1,8-2,8 ⁴	8-12 ⁵
	Prairie peu intensive	100	12-20 ¹	6,5-8,0 ²	15-30 ³	1,6-2,6 ⁴	8-12 ⁵
	Prairie intensive	100	10-15 ¹	5-7 ²	15-25 ³	1,5-2,5 ⁴	8-12 ⁵
	Pâturage intensif	100	24-30 ¹	7,5-9,5 ²	27-44 ³	2-3 ⁴	8-12 ⁵
	Pâturage mi-intensif	100	18-26 ¹	7-9 ²	22-39 ³	1,8-2,8 ⁴	8-12 ⁵
	Pâturage peu intensif	100	13-22 ¹	6,0-8,5 ²	17-34 ³	1,6-2,6 ⁴	8-12 ⁵
	Pâturage extensif	100	10-20 ¹	5,5-7,5 ²	15-30 ³	1,5-2,5 ⁴	8-12 ⁵
Production de graines de graminées et de légumineuses							
	Légumineuses pures (production de semences)	100	20-40	4-10	19-36	1,4-2,4	10-20
	Graminées pures (production de semences)	100	12-26	4-11	17-36	1,5-3,1	4-6

¹ Ces valeurs sont aussi valables pour une prairie riche en autres plantes; un fourrage riche en graminées prélève 10 à 20% d'azote en moins, un fourrage riche en légumineuses 10 à 20% en plus.

² Les prélèvements en phosphate d'une prairie riche en légumineuses ou d'une prairie riche en graminées sont comparables à ceux d'une prairie équilibrée; un fourrage riche en autres plantes exporte 10 à 20% de phosphate en plus.

³ La plus faible des deux valeurs indiquées correspond au prélèvement lorsque la richesse en potasse de la prairie concernée est normale; la valeur supérieure correspond au cas fréquent où la richesse en potasse est trop élevée; ces valeurs sont aussi valables pour une prairie riche en graminées ou riche en légumineuses; une prairie dominée par les autres plantes exporte 10 à 20% de potasse en plus.

⁴ Ces prélèvements sont peu influencés par la proportion de graminées, de légumineuses ou d'autres plantes; une prairie à ray-grass d'Italie peut produire un fourrage contenant moins de 1,5 kg de Mg par tonne de matière sèche, surtout au printemps; en été, les prélèvements sont en général 20% plus élevés qu'au printemps.

⁵ Ces valeurs sont aussi valables pour une prairie riche en autres plantes; un fourrage riche en graminées prélève 20% de Ca en moins, une prairie riche en légumineuses 15% en plus; en été, les prélèvements par unité de rendement sont en moyenne 20% plus élevés qu'au printemps.

Tableau 60. 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	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Mg	Ca
Vache laitière	25	6,0	13,8	1,6	1,9	0,5	11,6
Veau	24	5,85	13,4	1,8	2,2	0,35	11
Taureau à l'engrais	28	7,0	16,1	2,1	2,5	0,4	13
Mouton	22	6,0	13,8	1,2	1,4	0,3	11
Chèvre	26	6,0	13,8	1,9	2,3	0,4	11
Porcelet	24,6	5,3	12,2	1,8	2,2	0,35	7,8
Porc à l'engrais; truie ¹	22,2	5,3	12,2	1,6	1,9	0,35	8,7
Augm. de poids (25-120 kg)	21,4	5,3	12,2	1,5	1,8	0,35	9,0
Volaille	26	5,2	11,9	2,4	2,9	0,3	10
Lait	5,5	0,96	2,2	1,38	1,66	0,12	1,25

¹La truie n'est en général pas prise en compte dans le bilan.

18.3. Table de conversion

Tableau 61. Facteurs de conversion des différentes formes des éléments fertilisants

Connu		Facteur		Recherché
Élément ou molécule	Dénomination usuelle		Élément 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	CO(NH ₂) ₂	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'ammonium	0,350	N	Azote
(NH ₄) ₂ SO ₄	Sulfate d'ammonium	0,212	N	Azote
CO(NH ₂) ₂	Urée	0,466	N	Azote
P	Phosphore	2,291	P ₂ O ₅	Phosphate
P ₂ O ₅	Phosphate	0,436	P	Phosphore
K	Potassium	1,205	K ₂ O	Potasse
K ₂ O	Potasse	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 · 2 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
MgCO ₃	Carbonate de magnésium	0,288	Mg	Magnésium
MgCO ₃	Carbonate de magnésium	0,478	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 · 10 H ₂ O	Borax
B	Bore	3,220	B ₂ O ₃	Anhydride borique
B ₂ O ₃	Anhydrique borique	0,311	B	Bore
B ₂ O ₃	Anhydrique borique	1,777	H ₃ BO ₃	Acide borique

Tableau 61. Suite

		Connu	Facteur	Recherché
Elément ou molécule	Dénomination usuelle		Elément ou molécule	Dénomination usuelle
B ₂ O ₃	Anhydrique borique	2,739	Na ₂ B ₄ O ₇ · 10 H 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 · 10 H ₂ O	Borax
H ₃ BO ₃	Acide borique	0,572	B ₂ O ₃	Anhydride borique
Na ₂ B ₄ O ₇ · 10 H ₂ O	Borax	0,113	B	Bore
Na ₂ B ₄ O ₇ · 10 H ₂ O	Borax	0,638	H ₃ BO ₃	Acide borique
Na ₂ B ₄ O ₇ · 10 H ₂ O	Borax	0,365	B ₂ O ₃	Anhydride borique
Mn	Manganèse	4,061	MnSO ₄ · 4 H ₂ O	Sulfate de manganèse
Mn	Manganèse	3,603	MnCl ₂ · 4 H ₂ O	Chlorure de manganèse
MnSO ₄ · 4 H ₂ O	Sulfate de manganèse	0,246	Mn	Manganèse
MnCl ₂ · 4 H ₂ O	Chlorure de manganèse	0,278	Mn	Manganèse
Cu	Cuivre	3,928	CuSO ₄ · 5 H ₂ O	Sulfate de cuivre
CuSO ₄ · 5 H ₂ O	Sulfate de cuivre	0,255	Cu	Cuivre
Fe	Fer	4,979	FeSO ₄ · 7 H ₂ O	Sulfate de fer
FeSO ₄ · 7 H ₂ O	Sulfate de fer	0,201	Fe	Fer
Zn	Zinc	4,398	ZnSO ₄ · 7 H ₂ O	Sulfate de zinc
ZnSO ₄ · 7 H ₂ O	Sulfate de zinc	0,227	Zn	Zinc
Mo	Molybdène	1,840	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4 H ₂ O	Molybdate d'ammonium
Mo	Molybdène	2,522	Na ₂ MoO ₄ · 2 H ₂ O	Molybdate de sodium
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4 H ₂ O	Molybdate d'ammonium	0,543	Mo	Molybdène
Na ₂ MoO ₄ · 2 H ₂ O	Molybdate de sodium	0,397	Mo	Molybdène

18.4. Abréviations et termes utilisés (Tableau 62)

Abréviation/terme	Explication
Prélèvement	Quantité d'éléments fertilisants prise au sol (ou à l'air) par le produit principal et les résidus de récolte (sans les pertes inévitables à la récolte, chaumes et racines)
Norme (N)	Besoin des cultures en fertilisants azotés pour produire un bon rendement de qualité irréprochable dans des conditions climatiques et pédologiques moyennes.
Norme (P, K, Mg)	Besoin des cultures en P, K et Mg pour produire un bon rendement de qualité irréprochable pour un sol dont le niveau de fertilité est optimal
CCM	Corn Cob Mix, ensilage d'épis de maïs (sans spathe) avec en moyenne 50% des rafles produites
Déchets de récolte	Produits annexes de la production végétale (pailles, fanes de pommes de terre, feuilles de betteraves, etc.)
Valeur indicative pour les engrais de ferme	Valeur calculée 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
Lisier, lisier de porc	Contiennent tous les excréments des animaux et éventuellement de la litière (paille hachée, sciures, copeaux, etc.)
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)
Fumier frais	Fumier dont le stockage est inférieur à 1 mois
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

Tableau 62. Suite

Abréviation/terme	Explication
Fumier de stabulation	Fumier de stabulation libre. Contient la totalité des fèces, de l'urine et de la litière
Fumier de cheval, mouton, chèvre et veau	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
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
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 batteries avec tapis roulant
Fumier de poule, de poulet, de dinde	Contient la litière et la totalité des excréments de la volaille
MS MF	Matière sèche Matière fraîche
MJ EDP N _{min} N _{tot} N soluble N _{disp} Efficacité de N N-utilisé	Méga joules Energie digestible porcs Azote minéral du sol. Il comprend les teneurs en nitrate et en ammonium d'un échantillon de sol frais Azote total, indépendamment de la forme 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 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 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
UGB PPE PTE PP PE	Unité gros bétail Place de porc à l'engrais Place de truie d'élevage Place de poule pondeuse Place de poulet
N NO ₃ ⁻ NH ₄ ⁺ NH ₃ P P ₂ O ₅ K K ₂ O Ca CaO Ca(OH) ₂ CaCO ₃	Azote Nitrate Ammoniaque Ammoniac Phosphore Phosphate Potassium Potasse Calcium Oxyde de calcium, chaux vive Hydroxyde de calcium, chaux éteinte Carbonate de calcium, calcaire

Tableau 62. Suite

Abréviation/terme	Explication
Mg	Magnésium
MgCO ₃	Carbonate de magnésium
S	Soufre
SO ₄ ⁻⁻	Sulfate
SO ₃ ⁻⁻	Sulfite
B	Bore
Mn	Manganèse
Cl	Chlore
Cu	Cuivre
Fe	Fer
Mo	Molybdène
Zn	Zinc
CEC	Capacité d'échange des cations
Sat	Taux de saturation, proportion des ions calcium, potassium, magnésium et sodium de la CEC

18.5 Lois et ordonnances concernant la commercialisation et l'utilisation des engrais

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 alinéas 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'entrepôts 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 814.013 Ordonnance du 9 juin 1986 sur les substances dangereuses pour l'environnement (Osubst)

- Devoir général de diligence (Art. 9)
- Apports modérés dans l'environnement (Art. 10)
- Encouragement d'un comportement respectueux de l'environnement et surveillance (Art. 60)
- Annexe 4, 5 Engrais et produits assimilés aux engrais
- Définition (Chiffre 1)
- Remise (Chiffre 2)
- Utilisation (Chiffre 3)
- Dispositions transitoires (Chiffre 4)

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)



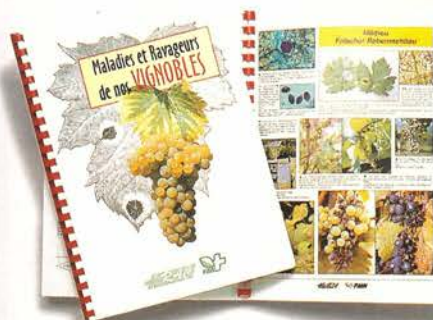
Nos collections

Principaux Cépages cultivés en Suisse

Fr. 20.-

COMMANDE:

Station fédérale de Changins, Service Info, CH-1260 Nyon 1,
tél. ++41 (22) 363 41 51/52, fax ++41 (22) 363 41 55.
E-mail: colette.porchat@rac.admin.ch



Adesso
in italiano!

Fr. 22.-

COMMANDE:

Station fédérale de Changins, Service Info, CH-1260 Nyon 1,
tél. ++41 (22) 363 41 51/52, fax ++41 (22) 363 41 55.
E-mail: colette.porchat@rac.admin.ch

Auch
auf deutsch!

Nos collections

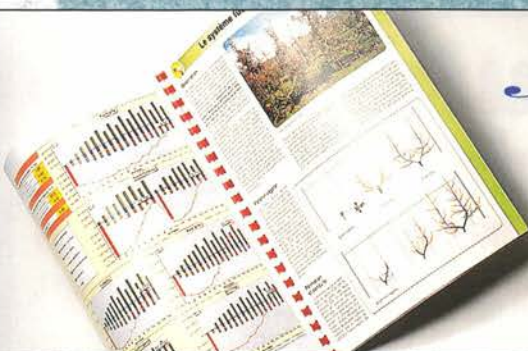
Maladies et ravageurs des VERGERS

Fr. 40.-

COMMANDE:

Station fédérale de Changins, Service Info, CH-1260 Nyon 1,
tél. ++41 (22) 363 41 51/52, fax ++41 (22) 363 41 55.
E-mail: colette.porchat@rac.admin.ch

Auch
auf deutsch!



Nos collections

Systèmes de Verger

Fr. 20.-

COMMANDE:

Station fédérale de Changins, Service Info, CH-1260 Nyon 1,
tél. ++41 (22) 363 41 51/52, fax ++41 (22) 363 41 55.
E-mail: colette.porchat@rac.admin.ch



Nos collections

Plantes fleuries des prairies permanentes

Fr. 18.-

COMMANDE:

Station fédérale de Changins, Service Info, CH-1260 Nyon 1,
tél. ++41 (22) 363 41 51/52, fax ++41 (22) 363 41 55.
E-mail: colette.porchat@rac.admin.ch

PRIX EN FRANCS FRANÇAIS = PRIX EN FRANCS SUISSES x 4



Revue suisse d'Agriculture

ABONNEMENT

(6 numéros par an)

Suisse

Fr. 40.-

Etranger

Fr. 46.-

COMMANDE:

Station fédérale de Changins, Service Info, CH-1260 Nyon 1,
tél. ++41 (22) 363 41 51/52, fax ++41 (22) 363 41 55.
E-mail: colette.porchat@rac.admin.ch



Revue suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture

ABONNEMENT

(6 numéros par an)

Suisse

Fr. 40.-

Etranger

Fr. 46.-

COMMANDE:

Station fédérale de Changins, Service Info, CH-1260 Nyon 1,
tél. ++41 (22) 363 41 51/52, fax ++41 (22) 363 41 55.
E-mail: colette.porchat@rac.admin.ch



Le Guide Viti de Changins + Index phytosanitaire 2001

COMMANDE:

Station fédérale de Changins, Service Info, CH-1260 Nyon 1,
tél. ++41 (22) 363 41 51/52, fax ++41 (22) 363 41 55.
E-mail: colette.porchat@rac.admin.ch



Le Guide Arbo de Changins + Index phytosanitaire 2001

COMMANDE:

Station fédérale de Changins, Service Info, CH-1260 Nyon 1,
tél. ++41 (22) 363 41 51/52, fax ++41 (22) 363 41 55.
E-mail: colette.porchat@rac.admin.ch



Les «Mauvaises Herbes» des Prairies Die Wiesenkräuter

Fr. 15.-

Ouvrage bilingue, décrivant les caractères botaniques
et la valeur fourragère de 93 plantes des prairies.

COMMANDE:

Station fédérale de Changins, Service Info, CH-1260 Nyon 1,
tél. ++41 (22) 363 41 51/52, fax ++41 (22) 363 41 55.
E-mail: colette.porchat@rac.admin.ch

PRIX EN FRANCS FRANÇAIS = PRIX EN FRANCS SUISSES x 4

POUR METTRE EN VALEUR LES NORMES DE FUMURE!

AGRILAND

Le plan de fumure des exploitations performantes!

 **agriland** associe:
un produit AGRISCOPE

- Les normes de fumure (DBF) aux prestations écologiques requises (PER).
- La fumure de rotation au bilan par parcelle.
- Les rendements des prairies à l'affouragement du troupeau.
- Les besoins des cultures à une valorisation optimale des engrais de ferme.
- La pratique à l'agronomie!

Nouveau!

- Agriland est maintenant compatible avec le nouveau logiciel **GiQ** développé par le SRVA, permettant le calcul et l'édition des PER !



Pour tout renseignement:

LANDOR, Suisse romande,
Case postale 155, 1880 Bex
Tél. 024 463 13 80
Fax 024 463 13 84
ou appel gratuit
No vert 0800 80 99 60

LANDOR