



## 7/ Fertilisation et environnement

Walter Richner<sup>1</sup>, Daniel Bretscher<sup>1</sup>, Harald Menzi<sup>2</sup> et Volker Prasuhn<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Agroscope, 8046 Zurich, Suisse

<sup>2</sup> Agroscope, 1725 Posieux, Suisse

Renseignements: [walter.richner@agroscope.admin.ch](mailto:walter.richner@agroscope.admin.ch)

## Table des matières

1. La fertilisation, un élément du cycle des éléments nutritifs .....	7/3
2. Adéquation des engrais et risques potentiels pour l'environnement .....	7/3
3. Mesures pour empêcher les pertes d'éléments nutritifs .....	7/4
3.1 Volatilisation de l'ammoniac .....	7/4
3.2 Dénitrification .....	7/6
3.3 Percolation: lixiviation et pertes par drainage .....	7/6
3.4 Ecoulement des eaux de surface: ruissellement et érosion .....	7/7
4. Conséquences d'une surfertilisation .....	7/8
5. Substances toxiques et germes pathogènes dans les engrais .....	7/8
6. Bases légales .....	7/10
7. Résumé des recommandations pour une fertilisation qui ménage l'environnement .....	7/10
8. Bibliographie .....	7/11
8.1 Références citées .....	7/11
8.2 Bibliographie spécialisée .....	7/11
9. Liste des tableaux .....	7/12
10. Liste des figures .....	7/12

## 1. La fertilisation, un élément du cycle des éléments nutritifs

La fertilisation consiste à restituer au sol les éléments nutritifs que les cultures ont prélevés. Selon le «concept de fertilisation en agriculture» appliqué en Suisse (figure 2, module 1), les engrais de ferme et les résidus de récolte restitués au sol représentent une part importante des éléments nutritifs exportés par la récolte. Les engrais importés dans l'exploitation (organiques et minéraux) interviennent subsidiairement pour combler un déficit éventuel entre les besoins en éléments nutritifs des cultures et les apports par les engrais de ferme.

Pour éviter des pertes d'éléments nutritifs risquant de polluer l'environnement tout en maintenant un niveau de fertilité durable du sol, il faut veiller autant que possible à l'équilibre entre les entrées et les sorties d'éléments nutritifs dans une exploitation (figure 1, module 1). Pour assurer un bilan des éléments nutritifs équilibré au niveau de l'exploitation, le Suisse-Bilanz (Agridea et OFAG 2016) est un outil de travail qui a fait ses preuves pour établir le bilan entre les éléments nutritifs disponibles sur l'exploitation et les besoins des cultures.

Dans les exploitations avec bétail plus particulièrement, il faut veiller à l'équilibre entre les éléments nutritifs contenus dans les engrais de ferme et les besoins des cultures, en tenant compte du niveau de fertilité du sol. L'intensité d'exploitation conforme au site doit être prise en compte. La production d'éléments nutritifs par le bétail n'est pas déterminée que par l'effectif des animaux de l'exploitation, mais aussi par l'affouragement. Il doit correspondre aux besoins actuels des animaux en termes d'énergie, de protéines et d'éléments minéraux. Ces paramètres amènent à réaliser un plan d'affouragement conforme aux besoins recommandés en fonction des performances des animaux. Ceci nécessite de connaître la composition de la ration de base et, si celle-ci ne couvre pas les besoins, de la compléter. Ce complément peut être constitué par exemple d'éléments de fourrages de base riches en énergie pour équilibrer une ration d'herbe riche en protéines. Les compléments peuvent aussi être constitués d'aliments concentrés bien dosés, d'additifs minéraux ou de fourrages spéciaux tels que des aliments pour porcs à teneurs réduites en phosphore (P) et en azote (N).

Pour parvenir à un bilan équilibré des éléments nutritifs au niveau de l'exploitation, il y a lieu de considérer le potentiel de production du site. En plaine, il est possible d'appliquer de plus grandes quantités d'éléments nutritifs qu'en montagne et donc le nombre d'animaux par unité de surface peut être plus élevé.

Par ailleurs, on aspire au maintien d'un niveau de fertilité du sol optimal: des excédents de certains éléments nutritifs peuvent éventuellement ne pas être valorisés en cas de carence d'autres éléments nutritifs et représentent donc un risque élevé de pollution.

Un bilan des éléments nutritifs équilibré est certes un objectif important, mais il ne garantit pas, à lui seul, que la

fertilisation ne pose aucun problème pour l'environnement. Il faut inclure une utilisation ciblée et conforme, du point de vue environnemental, de tous les engrais, des engrais de ferme en particulier. Des recommandations à ce sujet se trouvent dans le module 4.

## 2. Adéquation des engrais et risques potentiels pour l'environnement

Compte tenu de leurs propriétés, les engrais constituent un risque potentiel pour l'environnement très différent d'un engrais à l'autre (tableau 1). Le travail, les outils et le temps, autrement dit les divers moyens investis pour leur stockage et leur épandage diffèrent aussi dans une large mesure.

Les engrais de ferme et de recyclage présentent un risque environnemental élevé. Il y a plusieurs raisons à cet état de fait:

- Le N lié à la matière organique n'est disponible pour les plantes qu'après minéralisation. Le déroulement de celle-ci ne correspond pas forcément aux besoins des cultures, ce qui peut engendrer des pertes par différentes voies, principalement par la lixiviation des nitrates et la formation de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O).
- La plus grande part de l'azote minéralisé se trouve sous la forme d'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) qui peut s'échapper dans l'atmosphère sous forme d'ammoniac (NH<sub>3</sub>).
- Les teneurs en éléments nutritifs sont généralement moins connues avec exactitude et moins constantes que celles des engrais minéraux.
- La plus grande partie des engrais de ferme et des engrais de recyclage se trouve sous forme liquide. De ce fait, les risques de pertes sont plus élevés (ruissellement, infiltration).

Toute production animale à des fins alimentaires génère nécessairement des engrais de ferme qu'il est logique de valoriser sur les cultures de l'exploitation, en ménageant au mieux l'environnement. Il s'agit donc de prendre toute mesure nécessaire pour les gérer de manière écologique (optimisation des teneurs en éléments nutritifs dans les fourrages, stockage, moment et technique d'épandage). Une condition préalable importante pour limiter les risques de pertes consiste à disposer d'une capacité de stockage suffisante (chapitre 2.5.1, module 4) afin de ne pas devoir épandre fumier ou purin/lisier en dehors des périodes pendant lesquelles les cultures peuvent en profiter. La problématique de l'épandage des engrais durant la période de repos de la végétation n'est pas traitée ici, étant l'objet d'un document très complet d'aide à la concrétisation de la protection de l'environnement dans l'agriculture (OFEV et OFAG 2012).

Il est important de savoir qu'en règle générale les risques d'atteinte à l'environnement par les engrais de ferme augmentent plus que proportionnellement aux quantités disponibles par unité de surface. De ce fait, l'effectif d'animaux d'une exploitation doit être adapté à la quantité de fourrages produits d'après les potentialités du site. Les excédents

**Tableau 1. Risques potentiels d'atteintes à l'environnement lors de l'utilisation de différents types d'engrais et moyens investis pour remédier à la pollution du sol, de l'eau et de l'air.**

Les données de ce tableau reposent sur des bases scientifiques et le savoir des experts. On admet que l'application des engrais est faite de manière optimale, tant pour la quantité que pour la date d'épandage. La limite du système considéré comprend la fosse à purin/lisier, le tas de fumier et l'exploitation. Il n'est pas tenu compte ici du risque potentiel lié aux engrais de ferme dans l'étable, des engrais de recyclage ainsi que des engrais minéraux lors de leur conditionnement et de leur transport.

Type d'engrais	Potentiel de risques pour:				Critères techniques et économiques		
	Sol <sup>1</sup>	Nappe phréatique <sup>2</sup>	Eaux de surface <sup>3</sup>	Air <sup>4</sup>	Moyens investis pour le stockage et la manutention	Moyens investis pour un épandage précis	Moyens et restrictions pour un épandage sans risques pour l'environnement <sup>8</sup>
Purin/lisier	3	3	3	3	3	3	3
Fumier	2	3	2	2	2	2	3
Digestats liquides <sup>5</sup>	3	3	3	3	2	3	3
Digestats solides <sup>5</sup>	2	3	2	2	2	2	3
Compost	2	2	2	2	2	2	2
Engrais min. N <sup>6,7</sup>	1	2	1	2	1	2	2
Engrais min. P <sup>6,7</sup>	2	1	1	0	1	2	1
Engrais min. K <sup>6,7</sup>	1	2	1	0	1	2	1
Engrais min. Mg <sup>6,7</sup>	1	1	1	0	1	2	1
Engrais min. S <sup>6,7</sup>	1	2	1	0	1	2	1

Echelle d'appréciation du risque environnemental potentiel et des moyens techniques et économiques investis: 0 = donnée manquante, 1 = faible, 2 = moyen, 3 = élevé.

Type d'engrais: min. = minéral, N = azote, P = phosphore, K = potassium, Mg = magnésium, S = soufre.

<sup>1</sup> Emissions de substances dangereuses et atteintes physiques au sol.

<sup>2</sup> Emissions de nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), chlore (Cl), sulfate, germes de maladie et autres substances.

<sup>3</sup> Charge en P et en N, germes de maladie et autres substances.

<sup>4</sup> Emissions d'ammoniac et de protoxyde d'azote.

<sup>5</sup> Digestats provenant d'installations de méthanisation agricoles ou industrielles.

<sup>6</sup> La charge environnementale liée à la fabrication et au transport jusqu'à la ferme n'est pas prise en compte.

<sup>7</sup> Pour les engrais complexes, les critères d'appréciation sont fixés d'après la valeur la plus élevée de l'un des composants.

<sup>8</sup> Moyens investis (constructions, machines), temps de travail.

d'engrais de ferme doivent être transférés chez d'autres utilisateurs qui les valoriseront de manière conforme.

L'utilisation des engrais minéraux a aussi un effet sur l'environnement. Tout d'abord, leur production utilise souvent des matières premières non renouvelables; ensuite, une utilisation inadéquate (dosage, moment et technique d'épandage) peut avoir des répercussions environnementales (par exemple lixiviation du NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, eutrophisation des eaux). Toutefois, l'avantage des engrais minéraux par rapport aux engrais de ferme tient au fait qu'on peut les épandre de manière plus ciblée, leur teneur en éléments nutritifs et leur vitesse d'action étant connues.

### 3. Mesures pour empêcher les pertes d'éléments nutritifs

Les pertes d'éléments nutritifs constituent une perte économique pour l'exploitation et une charge environnementale à prendre au sérieux. Les pertes les plus courantes se

produisent par volatilisation du NH<sub>3</sub>, dénitrification, percolation (lixiviation et drainage) et écoulement des eaux de surface (ruissellement et érosion). Une fertilisation inadéquate augmente le risque de pertes.

#### 3.1 Volatilisation de l'ammoniac

Le NH<sub>4</sub><sup>+</sup> se transforme en NH<sub>3</sub> et se volatilise dans l'air sous forme gazeuse, puis une partie retombe plus tard sur le sol. Les écosystèmes sensibles peuvent être endommagés par les immissions de N atmosphérique (surfertilisation, acidification) et la percolation du NO<sub>3</sub><sup>-</sup> peut en être accrue. De plus, le NH<sub>3</sub> peut influencer des processus indésirables dans l'atmosphère en réagissant avec l'acide nitrique et l'acide sulfurique pour former des aérosols secondaires qui contribuent dans une large mesure à la pollution de l'air par les particules fines (Spirig et Neftel 2006).

Une réduction des pertes de NH<sub>3</sub> est directement profitable à l'exploitation, car cela signifie davantage de N disponible pour les plantes et des économies d'engrais. Une

réduction des pertes de  $\text{NH}_3$  dans les étables et durant le stockage des engrais de ferme est possible en nettoyant régulièrement les espaces salis et en couvrant les silos à purin/lisier.

D'importantes pertes de  $\text{NH}_3$  se produisent après l'épandage des engrais de ferme. Des mesures simples destinées à les diminuer sont résumées dans le tableau 2. Le choix du moment opportun pour l'épandage est déterminant (conditions météorologiques, état du sol, couverture du sol en grandes cultures). De plus, les pertes de  $\text{NH}_3$  avec les odeurs qui les accompagnent peuvent être sensiblement réduites en utilisant un système d'épandage adapté (rampe d'épandage à pendillards, rampe d'épandage à socs, enfouisseurs à purin/lisier) (module 5). Chaque fois que la topographie le permet, il faudrait faire usage de ces techniques (figure 1). En grandes cultures, le fumier devrait être incorporé peu d'heures après l'épandage.



Figure 1. Avec la rampe d'épandage à pendillards, les engrais liquides sont déposés au sol, en bandes étroites, avec peu de pertes, comparativement à l'épandage au moyen d'un déflecteur (photo: Harald Menzi, Agroscope).

**Tableau 2. Facteurs influençant la volatilisation de l'ammoniac et mesures visant à la réduction des émissions.**  
Les données de ce tableau sont fondées scientifiquement et reposent également sur le savoir des experts.

Critère	Conditions d'épandage	Risques	Mesures visant à éviter les pertes d'ammoniac	
			Purin/lisier et digestats liquides	Fumier et digestats solides
Météo	Température élevée, air sec, vent	Elevés	Epandage par journée fraîche et humide	Epandage par journée fraîche et humide
	Frais, humide, pas de vent	Moyens	Epandage en fin d'après-midi ou le soir	
	Précipitations pendant l'épandage	Faibles	Peu avant ou pendant une légère pluie (attention au risque de pertes par ruissellement)	Peu avant ou pendant une légère pluie (attention au risque de pertes par ruissellement)
Etat du sol	Surface du sol saturée d'eau, desséchée, compactée, croûtée,	Elevés	Epandre le purin/lisier uniquement sur un sol absorbant	
	Sol humide, capable d'absorber	Faibles à moyens		
Couverture du sol en grandes cultures	Sol couvert de paille hachée, couche de mulch, résidus de plantes (semis directs)	Elevés	Déchaumage avec injection simultanée (cultivateur avec dispositif d'incorporation à lisier) ou déchaumage avant l'épandage	
	Couvert végétal épais et dense	Moyens à élevés	Purin/lisier sur maïs: favoriser la pénétration du purin/lisier dans le sol (p. ex. sarclage préalable), application sous-foliaire	
	Sol sans couverture	Moyens	Diluer suffisamment le purin/lisier	
Taux de dilution du purin/lisier <sup>1</sup>	Non dilué	Elevés	Purin/lisier de bovin: dilution minimale 1:1, mieux 1:2; Purin/lisier, lisier de porc: dilution minimale 1:2, mieux 1:3	
	Moyennement dilué (jusqu'à 1:1)	Moyens		
	Très dilué (plus de 1:2)	Faibles		
Technique d'épandage (voir module 5)	Epandage en surface	Elevés	Epandage avec rampe d'épandage à pendillards / à socs, enfouisseur à purin/lisier, injection profonde, cultivateur avec dispositif d'incorporation à lisier	Incorporation immédiate (dans les quelques heures qui suivent l'épandage) par labour ou chisel
	Epandage par bandes et près du sol	Moyens		
	Incorporation directe dans le sol <sup>2,3</sup>	Faibles		

<sup>1</sup> Parts de purin/lisier:parts d'eau.

<sup>2</sup> Possible uniquement avec du purin/lisier ou des digestats liquides.

<sup>3</sup> Dilution pas nécessaire.

### 3.2 Dénitrification

La nitrification correspond à la transformation de  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NO}_3^-$ . L'étape suivante est le passage du  $\text{NO}_3^-$  en N gazeux ( $\text{N}_2$ ), appelée dénitrification (respiration nitrique), qui constitue une perte de disponibilités en N en termes de fertilisation. Du protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ , un gaz à effet de serre puissant) peut être libéré en tant que sous-produit ou produit intermédiaire aussi bien durant les processus de nitrification que de dénitrification. Ce protoxyde d'azote contribue dans une large mesure au réchauffement de l'atmosphère terrestre. Pour quantifier les émissions de protoxyde d'azote et d'autres gaz traces issus de systèmes agricoles, il faut disposer d'un équipement coûteux (figure 2).

Des températures élevées ainsi que, dans le sol, une bonne oxygénation et une teneur en eau modérée constituent les conditions idéales pour la nitrification. Cependant, la dénitrification est souvent le processus principal responsable des pertes de N par la formation de  $\text{N}_2\text{O}$ . Elle se produit en conditions d'anaérobiose, plus particulièrement en des endroits du sol à haute activité microbienne où il ne parvient pas suffisamment d'oxygène par diffusion gazeuse. Les conditions optimales pour les pertes d'azote par dénitrification prévalent donc principalement dans les agrégats du sol, en présence d'une quantité suffisante de nitrates et de

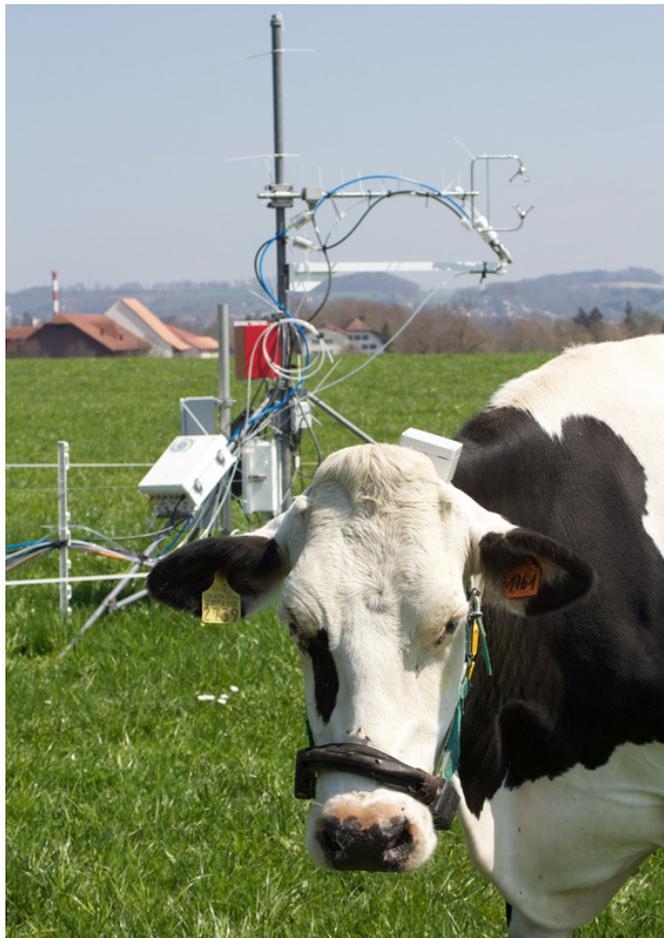


Figure 2. Mesure des émissions de protoxyde d'azote dans un essai de pâture au moyen de la méthode Eddy covariance (photo: Raphael Felber, Agroscope).

matières organiques, avec une température pas trop basse et une diffusion insuffisante de l'oxygène due à une teneur en eau élevée. De plus, des quantités importantes de  $\text{N}_2\text{O}$  peuvent se former lors des cycles de gel/dégel en automne et au printemps; les processus biochimiques correspondants sont cependant encore peu connus.

Les apports de N sous forme d'engrais de ferme, d'engrais minéraux, d'engrais de recyclage ou de résidus de récolte augmentent les disponibilités de  $\text{NH}_4^+$  et de  $\text{NO}_3^-$  dans le sol, favorisant ainsi tant la nitrification que la dénitrification. Ces phénomènes naturels sont difficilement influençables par des mesures culturales. En moyenne, un pourcent des apports de N se perd sous forme de  $\text{N}_2\text{O}$  (*Default Emission Factor* selon IPCC 2006). Mais une dénitrification complète jusqu'au niveau  $\text{N}_2$  peut engendrer en général des pertes bien plus importantes, jusqu'à 10%. Il a pu être établi par différentes études qu'en présence d'une grande quantité de N minéral, notamment en cas de fertilisation dépassant les besoins des plantes, l'accroissement des pertes est plus que proportionnelle aux quantités excédentaires (Snyder *et al.* 2009; Van Groenigen *et al.* 2010). Il est donc nécessaire d'éviter au maximum les risques de pertes locales et temporaires de  $\text{NH}_4^+$  et de  $\text{NO}_3^-$  dans le sol par une fertilisation n'excédant pas les besoins des plantes.

Les processus de nitrification et de dénitrification ne se produisent pas que dans les terres agricoles, mais aussi dans des écosystèmes semi-naturels par les immissions de  $\text{NH}_3$  et de  $\text{NO}_3^-$  provenant des terres cultivées et ils subissent les mêmes phénomènes qui ne sont pas négligeables. Les émissions correspondantes dépassent souvent la moyenne. Dans la perspective d'une agriculture respectueuse du climat, il est donc important de considérer l'ensemble des flux de N et de limiter au maximum les risques de pertes de N en se conformant aux recommandations contenues dans les tableaux 2 à 4.

### 3.3 Percolation: lixiviation et pertes par drainage

Des éléments nutritifs solubles ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , etc.) sont emportés dans le sol jusque dans la nappe phréatique (flux matriciel) par percolation. En conditions particulières, des engrais liquides peuvent aussi migrer en profondeur à travers les macropores (flux préférentiel) et quitter ainsi la zone des racines. Les deux types de migration des éléments nutritifs hors de portée des racines altèrent la qualité des eaux souterraines. La lixiviation des éléments nutritifs dans le sol, indépendamment de l'utilisation agricole, est étudiée en lysimètres (figure 3).

Une attention toute particulière doit être portée à la fertilisation en sols drainés, le cheminement de l'eau de percolation y étant sensiblement plus court. Les risques de pertes par flux matriciel et flux préférentiel y sont particulièrement élevés. Les pertes par drainage peuvent ainsi altérer la qualité des eaux de surface.

En cultures spéciales sur substrat, l'eau de drainage doit être récupérée par des rigoles et recyclée ou valorisée sur d'autres cultures.

Par des mesures adéquates, il est possible de réduire sensiblement les risques de pertes par lixiviation et drainage (tableau 3).

### 3.4 Écoulement des eaux de surface: ruissellement et érosion

Les engrais sur le sol peuvent être entraînés par l'écoulement des eaux de pluie en surface ou emportés avec les matériaux arrachés par l'érosion. Les éléments nutritifs qui

quittent ainsi le champ polluent les eaux de surface (eutrophisation, mort de poissons, etc.). Les engrais liquides peuvent aussi s'écouler en surface, immédiatement après l'épandage si celui-ci n'a pas été effectué de manière adéquate ou si les conditions météorologiques qui suivent sont défavorables. Les surfaces inclinées qui ont une connexion directe avec les eaux de surface ou qui s'y raccordent indirectement par les grilles d'écoulement des eaux des routes et des chemins (figure 4) présentent un risque de pollution élevé (surfaces dites contributives selon

**Tableau 3. Facteurs influençant les pertes d'éléments nutritifs contenus dans les engrais par lixiviation et drainage. Recommandations pour un épandage des engrais liquides sans pertes.**

Les informations contenues dans ce tableau se fondent sur des données scientifiques et sur le savoir des experts.

Critères	Conditions	Risques de pertes par lixiviation et drainage	Charge possible en engrais liquides; mesures de prévention à l'épandage et dose maximale par épandage <sup>1</sup>
Conditions météorologiques	Pluies fortes ou de longue durée	Très élevés	Nulle; reporter l'épandage
Porosité du sol	a. Répartition et forme des pores:		
	Perméabilité aisée, gros pores, fracturé, aides artificielles à la percolation	Elevés	Faible à nulle; jusqu'à 25 m <sup>3</sup> /ha
	Perméabilité entravée, porosité fine, eau stagnante	Moyens	Réduite; jusqu'à 40 m <sup>3</sup> /ha
	Perméabilité normale, porosité moyenne	Faibles	Normale; jusqu'à 60 m <sup>3</sup> /ha *
	b. Remplissage des pores:		
	Capacité d'absorption nulle, saturé d'eau	Très élevés	Nulle; reporter l'épandage
	Sol absorbant, avec une capacité de 3 à 5 mm de liquide	Moyens	Réduite; jusqu'à 40 m <sup>3</sup> /ha
Sol très absorbant avec une capacité > 5 mm	Faibles	Normale; jusqu'à 60 m <sup>3</sup> /ha *	
Profondeur filtrante utile du sol	a. Profondeur utile insuffisante (< 30 cm)	Elevés	Faible; jusqu'à 25 m <sup>3</sup> /ha
	b. Profondeur utile suffisante (30–50 cm)	Moyens	Réduite; jusqu'à 40 m <sup>3</sup> /ha
	c. Profondeur utile bonne à très bonne (> 50 cm)	Faibles	Normale; jusqu'à 60 m <sup>3</sup> /ha *
Capacité de rétention utile et de filtration	a. Sols à faible capacité de rétention: Teneur en humus < 2 % Teneur en argile < 10 %	Elevés	Faible; jusqu'à 25 m <sup>3</sup> /ha
	b. Sols à capacité de rétention moyenne: Teneur en humus < 5 % Teneur en argile > 30 %	Moyens	Réduite; jusqu'à 40 m <sup>3</sup> /ha
	c. Sols à bonne capacité de rétention: Teneur en humus 2–10 % Teneur en argile 10–30 %	Faibles	Normale; jusqu'à 60 m <sup>3</sup> /ha *
Culture en place <sup>2</sup> (besoins en éléments nutritifs)	a. Besoins actuels ou dans un délai proche	Faibles	Normale; épandre la dose appropriée
	b. Pas de besoins momentanés:		
	Terres ouvertes	Très élevés	Nulle; pas d'épandage
Prairies	Elevés	Faible; jusqu'à 25 m <sup>3</sup> /ha	

<sup>1</sup> Les quantités maximales indiquées se rapportent à un purin/lisier normalement dilué. Pour des dilutions plus faibles, il faut réduire la dose d'après l'apport maximum de N admissible: pour les grandes cultures, voir le tableau 26 du module 8. Pour les prairies, voir le module 9.

<sup>2</sup> Pour savoir si les besoins des cultures en éléments nutritifs sont actuels, il faut tenir compte du repos végétatif. Des détails à ce sujet se trouvent dans OFEV et OFAG (2012).

\* Cette quantité est trop élevée pour un apport unique; elle devrait être fractionnée en deux épandages.



Figure 3. Procédés comprenant du colza, de la prairie temporaire et de la betterave sucrière étudiés dans une installation lysimétrique à Zurich-Reckenholz (photo: Volker Prasuhn, Agroscope).



Figure 4. Ecoulement des eaux de surface provenant d'un champ en amont immédiatement dans une grille collectant les eaux de la route: une voie directe pour la contamination des eaux de surface par des éléments nutritifs ou des matières auxiliaires de l'agriculture (photo: Volker Prasuhn, Agroscope).

Frey et al. 2011). Des bandes tampons enherbées et suffisamment larges le long des eaux de surface ou des voies de circulation drainées permettent de réduire les risques de pollution. Le tableau 4 indique comment organiser rationnellement l'épandage des engrais afin de prévenir ces risques.

#### 4. Conséquences d'une surfertilisation

Lorsque, durant une période prolongée, un élément nutritif est apporté au sol en quantités supérieures à celles qui sont exportées par les cultures, l'excédent enrichit le sol ou se perd dans les eaux ou dans l'atmosphère. Un fort enrichissement du sol peut entraîner les effets négatifs suivants:

- déséquilibre des éléments nutritifs dans le sol;
- teneurs en éléments nutritifs élevées et indésirables dans les plantes, dues à une consommation de luxe – p. ex.  $\text{NO}_3^-$  ou potassium – aboutissant à une altération de la qualité des aliments et des fourrages;
- modification de la composition botanique des herbages (prolifération d'espèces indésirables, raréfaction de certaines espèces);
- augmentation des risques de pertes d'éléments nutritifs.

Des pertes d'éléments nutritifs dans l'environnement peuvent notamment affecter les eaux, polluer l'air, conduire à l'eutrophisation d'écosystèmes naturels avec, comme corollaire, la disparition d'espèces.

Les effets négatifs d'une surfertilisation augmentent plus que proportionnellement à l'excédent d'éléments nutritifs par rapport aux besoins des cultures. Par conséquent, une fertilisation adaptée aux besoins et tenant compte des réserves du sol est primordiale pour éviter une altération des ressources naturelles. En adaptant la fertilisation de manière conséquente d'après les teneurs en éléments nutritifs, selon les données contenues dans le module 2, il est possible de ramener les disponibilités du sol au niveau de fertilité C (qualifié de satisfaisant). La durée de cette correction peut être plus ou moins longue (plusieurs années) selon l'élément nutritif en cause.

#### 5. Substances toxiques et germes pathogènes dans les engrais

Des substances toxiques peuvent parvenir au sol par la fertilisation et s'y accumuler. Les prescriptions pour l'autorisation des engrais consignées dans l'ordonnance sur la mise en circulation des engrais (OEng, Recueil systématique du droit fédéral RS 916.171) et dans l'ordonnance sur le livre des engrais (OLen, RS 916.171.1) ainsi que les valeurs limites fixées dans l'annexe 2.6 de l'ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques (ORRChim, RS 814.81) ont notamment pour but une limitation de la pollution des sols et des récoltes par des substances toxiques contenues dans les engrais.

Une attention particulière doit être portée aux métaux lourds que peuvent contenir non seulement les engrais de recyclage, mais également les engrais de ferme (p.ex. cuivre et zinc dans le lisier de porc) et les engrais minéraux (p. ex. le cadmium dans les engrais phosphoriques). Les utilisateurs d'engrais ne disposent en général d'aucune indication sur les teneurs en métaux lourds des lots qui leur sont fournis. La responsabilité légale pour la fourniture d'engrais pauvres en métaux lourds incombe aux fabri-

**Tableau 4. Facteurs influençant les pertes d'éléments nutritifs contenus dans les engrais par ruissellement ou érosion et recommandations pour un épandage des engrais liquides avec le moins de pertes possible.**

Les données de ce tableau reposent sur des données scientifiques et sur le savoir des experts.

Critères	Conditions d'épandage	Risques de ruissellement ou d'érosion	Dose admissible d'engrais liquides; mesures d'épandage adéquates et quantités maximales par épandage <sup>1</sup>
Conditions météorologiques	Pluies continues ou orages prévisibles sous peu	Très élevés	Dose admissible nulle; reporter l'épandage
Porosité du sol	<b>a. Sol nu<sup>2</sup></b>		
	Capacité d'infiltration réduite (tassement, croûtage, colmatage, saturé en eau, gelé, surface imperméable)	Très élevés	Dose admissible nulle; reporter l'épandage
	Sol bien filtrant, meuble, ressuyé, surface rugueuse	Moyens à faibles	Dose admissible réduite à normale; moins de 60 m <sup>3</sup> /ha*
	<b>b. Sol sous culture</b>		
	Capacité d'infiltration réduite (tassement, croûtage, colmatage, saturé en eau, gelé, surface imperméable)	Très élevés	Dose admissible nulle; reporter l'épandage
	Sol bien filtrant, meuble, ressuyé, surface rugueuse	Faibles	Dose admissible normale; jusqu'à 60 m <sup>3</sup> /ha *
	<b>c. Sol couvert de neige</b>		
	Neige très froide et sèche	Très élevés	Dose admissible nulle; reporter l'épandage
	Neige fondante	Très élevés	Dose admissible nulle; reporter l'épandage
Conditions topographiques	<b>Terres ouvertes</b> Risques d'érosion hydrique selon la carte des risques au quadrillage 2x2 m (CRE2) <sup>3</sup> et la carte de l'écoulement d'eau (CEE2) <sup>4</sup> :		
	Pas de risques d'érosion	Faibles	Dose admissible normale; jusqu'à 60 m <sup>3</sup> /ha *
	Risques d'érosion moyens	Moyens	Dose admissible réduite; jusqu'à 40 m <sup>3</sup> /ha
	Risques d'érosion élevés	Elevés	Dose admissible faible; jusqu'à 25 m <sup>3</sup> /ha <sup>△</sup>
	<b>Cultures herbagères</b>		
	Pente		
	≤ 18 %	Faibles	Dose admissible normale; jusqu'à 60 m <sup>3</sup> /ha *
	19–35 %	Moyens	Dose admissible réduite; jusqu'à 40 m <sup>3</sup> /ha
	36–50 %	Elevés	Dose admissible faible; jusqu'à 20 m <sup>3</sup> /ha
> 50 %	Très élevés	Dose admissible nulle; reporter l'épandage	

<sup>1</sup> Les quantités indiquées par épandage se rapportent à du purin/lisier suffisamment dilué. En cas de faible dilution, la réduction des quantités doit se calculer par rapport aux quantités d'éléments nutritifs à apporter.

<sup>2</sup> Le champ est juste ensemencé ou planté ou le sera peu après l'épandage.

<sup>3</sup> Les données de la carte des risques d'érosion figurent dans Gislser *et al.* (2011) ainsi que sur la plateforme de géoinformation de la Confédération sous: <https://map.geo.admin.ch/> > Géocatalogue > Nature et environnement > Sol > Risque d'érosion qualitatif 2.

<sup>4</sup> Les données de la carte hydrologique figurent dans Alder *et al.* (2015) ainsi que sur la plateforme de géoinformation de la Confédération sous: <https://map.geo.admin.ch/> Géocatalogue > Nature et environnement > Sol > hydrogéologie.

\* Cette quantité est généralement trop élevée pour être épandue en une seule fois. Préférer un apport en deux fois.

△ En plus des risques d'érosion selon CRE2, il y a lieu de tenir compte de la couverture du sol par la culture en place.

cants et aux importateurs ainsi qu'aux gérants d'installations de compostage ou de méthanisation. Les teneurs en métaux lourds des engrais sont contrôlées périodiquement par les cantons mandatés par l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG).

Les conséquences sur le sol des accumulations de médicaments vétérinaires (en particulier les antibiotiques), de polluants organiques, de substances analogues à des hormones ainsi que de l'uranium, un métal lourd radioactif,

sont encore peu connues. Ces substances sont amenées principalement par le biais des engrais de ferme et des engrais de recyclage, à l'exception de l'uranium qui parvient dans le sol par l'intermédiaire des engrais phosphoriques.

Des **germes pathogènes** peuvent aussi parvenir dans le sol par l'intermédiaire des engrais de ferme et des engrais de recyclage (Fuchs *et al.* 2014) et certains d'entre eux peuvent y survivre plusieurs mois. Le stockage du purin/lisier et la phase de thermisation du compost contribuent à réduire

les germes pathogènes à un niveau où ils sont généralement inoffensifs.

## 6. Bases légales

Des prescriptions légales destinées à la protection de l'environnement doivent être observées pour la mise dans le commerce des engrais et leur utilisation (OFEV et OFAG 2012), notamment les textes légaux suivants:

- ordonnance sur les produits chimiques (OChim, RS 813.11);
- ordonnance sur les atteintes portées au sol (OSol, RS 814.12);
- loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20);
- ordonnance sur la protection des eaux (OEaux, RS 814.201);
- ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques (ORRchim, RS 814.81);
- loi sur la protection de l'environnement (LPE, RS 814.01)
- loi sur l'agriculture (LAgr, RS 910.1);
- ordonnance sur les engrais (OEng, RS 916.171);
- ordonnance sur le livre des engrais (OLen, RS 916.171.1).

La concrétisation de ces dispositions légales concernant l'utilisation des engrais trouve son application à travers différents modules d'aide à l'exécution pour la protection de l'environnement dans l'agriculture. En premier lieu, il y a les modules «Éléments fertilisants et utilisation des en-



Figure 5. Pour une fumure ciblée et respectueuse de l'environnement, les engrais doivent être apportés en quantités adaptées aux besoins, au moment où les plantes peuvent utiliser efficacement les éléments nutritifs qu'ils contiennent (photo: Gabriela Brändle, Agroscope).

grais dans l'agriculture» (OFEV et OFAG 2012) et «Constructions rurales et protection de l'environnement» (OFEV et OFAG 2011).

Les exploitations qui respectent les prescriptions écologiques requises (PER) sont soumises en plus aux directives de l'ordonnance sur les paiements directs (OPD, RS 910.13) avec les outils de mise en œuvre qui les accompagnent (p. ex. Suisse-Bilanz). Pour la participation volontaire à d'autres programmes, les prescriptions correspondantes se trouvent dans les ordonnances suivantes:

- ordonnance sur la culture biologique (RS 910.18);
- ordonnance du Département fédéral de l'économie, de la formation et de la recherche (DEFR) sur l'agriculture biologique (RS 910.181).

## 7. Résumé des recommandations pour une fertilisation qui ménage l'environnement

Une fertilisation dirigée et qui ménage l'environnement permet d'entretenir une fertilité durable du sol. Elle limite les pertes évitables de substances nutritives et contribue à réduire le coût des engrais. De cette manière, on participe au maintien d'une bonne qualité des eaux de surface, des eaux souterraines, de l'air et du climat. Il est cependant souvent difficile de remplir toutes les conditions en même temps. C'est le devoir de tous les agriculteurs de mettre à profit leurs compétences, avec l'appui des services de vulgarisation et l'utilisation des moyens d'aide à la décision, pour organiser la fertilisation au bon moment, d'après les besoins des plantes, les conditions du site et les conditions météorologiques (figure 5). Ce faisant, il faut veiller à ce que les mesures prises pour réduire les pertes d'éléments nutritifs dans un certain secteur ne les fassent pas passer dans un autre (*Pollution Swapping*; Stevens et Quinton 2009). Ainsi, par exemple, une diminution des émissions de  $\text{NH}_3$  peut entraîner une élévation des teneurs en  $\text{NO}_3^-$  dans le sol avec des pertes par lessivage et la formation de protoxyde d'azote (dénitrification). Il est donc de la plus haute importance de considérer l'ensemble du système pour mettre en place les mesures de réduction des risques de pollution.

Ci-après, les points essentiels à l'optimisation de la fertilisation selon Roberts (2007):

- engrais adéquat;
- quantité épandue adéquate;
- moment d'application adéquat;
- endroit d'application adéquat.

## Principales mesures pour réduire au mieux la pollution de l'environnement par les engrais:

- Adapter la charge en bétail d'après les besoins des cultures en éléments nutritifs.
- Planifier soigneusement la fertilisation parcelle par parcelles en tenant compte de la rotation des cultures et d'analyses de sol fiables.
- Valoriser de manière ciblée les éléments nutritifs des engrais de ferme de l'exploitation. Une analyse périodique de la teneur en éléments nutritifs des engrais de ferme peut être très utile.
- Appliquer des engrais de l'extérieur (engrais de ferme, engrais de recyclage, engrais minéraux) uniquement pour couvrir les différences entre les engrais de ferme de l'exploitation et les besoins des cultures.
- Adapter le moment d'épandage, la quantité nécessaire et la forme des différents apports d'engrais au stade de développement des cultures en tenant compte des disponibilités dans le sol, du site et des conditions météorologiques.
- Éviter tout épandage d'engrais azoté en dehors des périodes de croissance (volume de stockage pour le purin/lisier et le fumier en suffisance).
- Épandre les engrais liquides uniquement si le sol est suffisamment absorbant; renoncer à épandre des engrais liquides si le sol est saturé d'eau, tassé, croûté ou couvert de neige); une prudence particulière est de mise en sols drainés.
- Épandre les engrais de ferme et les engrais de recyclage liquides uniquement au moyen de systèmes d'épandage permettant de limiter les pertes de  $\text{NH}_3$  par volatilisation.
- Épandre le purin/lisier et le fumier uniquement par temps frais et calme (pendant l'épandage et si possible durant les 24 heures qui suivent: température < 15 °C, humidité relative de l'air > 70 %). En grandes cultures, griffer le sol avant l'épandage de l'engrais liquide ou l'incorporer par sarclage immédiatement après l'épandage ou si possible l'épandre par injection directe dans le sol.
- En grandes cultures, éviter les périodes sans couverture végétale (cultures dérobées, engrais verts, sous-semis, ensemencement de prairie temporaire, semis sous litière, etc.).

## 8. Bibliographie

### 8.1 Références citées

- Agridea & OFAG, 2016. Guide Suisse-Bilanz, édition 1.13. Office fédéral de l'agriculture OFAG, Berne. 25 p.
- Alder S., Prasuhn V., Liniger H.P., Herweg K., Hurni H., Candinas A. & Gujer H.U., 2015. A high-resolution map of direct and indirect connectivity of erosion risk areas to surface waters in Switzerland – A risk assessment tool for planning and policy-making. *Land Use Policy* 48, 236–249.
- Frey M., Konz N., Stamm C. & Prasuhn V., 2011. Identification des surfaces qui contribuent démesurément à la pollution des eaux. *Recherche Agronomique Suisse* 2 (4), 156–161.
- Fuchs J., Baier U., Berner A., Philipp W. & Schleiss K., 2014. Abschätzung des hygienischen Risikos im Zusammenhang mit der Anwendung von flüssigem Gärgut in der Schweiz – Schlussbericht. Publikation Nr. 290982. Bundesamt für Energie BFE, Bern.
- Gisler S., Liniger H.P. & Prasuhn V., 2011. Carte à haute résolution du risque d'érosion au raster 2x2 m (CRE2). *Recherche Agronomique Suisse* 2 (4), 148–155.
- IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4 «Agriculture, Forestry and Other Land Use», Chapter 11 « $\text{N}_2\text{O}$  Emissions from Managed Soils, and  $\text{CO}_2$  Emissions from Lime and Urea Application». Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva. Accès: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html> [6.10.2016].
- OFEV & OFAG, 2011. Constructions rurales et protection de l'environnement. Un module de l'aide à l'exécution pour la protection de l'environnement dans l'agriculture. L'environnement pratique No. UV-1101-F. Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne. 122 p.
- OFEV & OFAG, 2012. Éléments fertilisants et utilisation des engrais dans l'agriculture. Un module de l'aide à l'exécution pour la protection de l'environnement dans l'agriculture. L'environnement pratique No. UV-1225-F. Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne. 63 p.

- Roberts T.L., 2007. Right product, right rate, right time, and right place ... the foundation of BMPs for fertilizer. *Better Crops* 91 (4), 14–15.
- Snyder C.S., Bruulsema T.W., Jensen T. L. & Fixen P.E., 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 133 (3–4), 247–266.
- Spirig C. & Neftel A., 2006. Emissions agricoles d'ammoniac et particules fines. *Recherche Agronomique Suisse* 13 (9), 392–397.
- Stevens C.J. & Quinton J.N., 2009. Diffuse pollution swapping in arable agricultural systems. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 39 (6), 478–520.
- Van Groenigen J., Velthof G.L., Oenema O., Van Groenigen K.J. & Van Kessel C., 2010. Towards an agronomic assessment of  $\text{N}_2\text{O}$  emissions: a case study for arable crops. *European Journal of Soil Science* 61 (6), 903–913.

### 8.2 Bibliographie spécialisée

- BDU, 2004. Hofdünger – gezielt eingesetzt. Beratergruppe BDU, 2004. Hofdünger – gezielt eingesetzt. Beratergruppe «Boden Düngung Umwelt» BDU, Lindau. 4 p.
- BDU-Arbeitsgruppe «Ammoniak», 2005. Ammoniakverluste bei der Hofdüngerausbringung reduzieren. *UFA-Revue* 12, 33–34.
- BDU-Arbeitsgruppe «Ammoniak», 2011. Ammoniakverluste aus der Landwirtschaft – Wissenswertes in Kürze. 2. aktualisierte Auflage. Beratergruppe «Boden Düngung Umwelt» BDU, Lindau. 2 p.
- OFEV & OFEFP, 2004. Avis technique « La fumure au bon moment ». 2<sup>e</sup> édition inchangée.
- Station fédérale de recherches en agroécologie et agriculture de Zurich-Reckenholz FAL, Zurich. 4 p.
- UNECE, 2014. Leitfaden zur Vermeidung und Verringerung von Ammoniakemissionen aus landwirtschaftlichen Quellen. Deutschsprachige Version des Dokuments ECE/EB.AIR/120ECE/EB.AIR/120, erstellt im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU, Bern. 98 p.

## 9. Liste des tableaux

Tableau 1. Risques potentiels d'atteintes à l'environnement lors de l'utilisation de différents types d'engrais et moyens investis pour remédier à la pollution du sol, de l'eau et de l'air. ....	7/4
Tableau 2. Facteurs influençant la volatilisation de l'ammoniac et mesures visant à la réduction des émissions. ....	7/5
Tableau 3. Facteurs influençant les pertes d'éléments nutritifs contenus dans les engrais par lixiviation et drainage. Recommandations pour un épandage des engrais liquides sans pertes. ....	7/7
Tableau 4. Facteurs influençant les pertes d'éléments nutritifs contenus dans les engrais par ruissellement ou érosion et recommandations pour un épandage des engrais liquides avec le moins de pertes possible. ....	7/9

## 10. Liste des figures

Figure 1. Avec la rampe d'épandage à pendillards, les engrais liquides sont déposés au sol, en bandes étroites, avec peu de pertes, comparativement à l'épandage au moyen d'un déflecteur. ....	7/5
Figure 2. Mesure des émissions de protoxyde d'azote dans un essai de pâture au moyen de la méthode Eddy covariance. ....	7/6
Figure 3. Procédés comprenant du colza, de la prairie temporaire et de la betterave sucrière étudiés dans une installation lysimétrique à Zurich-Reckenholz. ....	7/8
Figure 4. Ecoulement des eaux de surface provenant d'un champ en amont immédiatement dans une grille collectant les eaux de la route: une voie directe pour la contamination des eaux de surface par des éléments nutritifs ou des matières auxiliaires de l'agriculture. ....	7/8
Figure 5. Pour une fumure ciblée et respectueuse de l'environnement, les engrais doivent être apportés en quantités adaptées aux besoins, au moment où les plantes peuvent utiliser efficacement les éléments nutritifs qu'ils contiennent. ....	7/10