seit 1663

Hauert

L'importance des engrais

L'importance des engrais

Impressum:
L'importance des engrais
8. Edition, version retravaillée – 2023
Editeur: Engrais Hauert HBG SA, CH-3257 Grossaffoltern

Adresse de diffusion:
Engrais Hauert HBG SA
CH-3257 Grossaffoltern
Téléphone +41 (0)32 389 10 10
info@hauert.com
www.hauert.com

Reproduction avec mention des sources autorisée,
exemplaire souhaité.

Contribution symbolique: CHF 22.–

L'importance des engrais

Sommaire

Page	Chaptire	Sommaire
4		Sommaire
5		Préface
6	01	But de la nutrition des plantes
7	02	Historique de la fertilisation
8–15	03	Approvisionnement en éléments nutritifs, tableaux des symptômes
16–27	04	Disponibilité des éléments nutritifs dans les sols et les substrats de cultures
28–33	05	L'eau – un élément important
34–43	06	Carences en éléments nutritifs et corrections
44–57	07	Les engrais
58–71	08	La fumure correcte de cultures
72–73	09	La fumure en agriculture biologique
74–81	10	Analyses en laboratoire et méthodes rapides
82–85	11	Compostage et utilisation du compost
86–89	12	Mesures de correction du pH et de la dureté de l'eau
90–93		Annexe
94–95		Références bibliographiques
96–97		À propos de Hauert | Nos technologies
98–99		À propos de SWISS GREEN

Ce sigle signifie que des informations détaillées sont données aux personnes intéressées.

Ce sigle signifie que vous trouverez des faits importants sous forme compacte en relation avec le thème traité.

Préface

L'importance des engrais

Laissez-moi commencer par une petite considération sur notre ère de l'information.

Dernièrement, je me suis rendu compte qu'il est souvent plus difficile et pénible d'extraire, à partir d'une abondance d'informations, celles qui sont essentielles que de savoir que l'information n'existe pas encore et que c'est à nous d'élaborer les connaissances et les compétences.

Ceux qui opèrent dans la branche verte savent que, depuis des décennies, des expériences et des recherches coûteuses sont effectuées dans les centres de recherche, au niveau des industries et dans la pratique. Nous savons également que la productivité horticole a beaucoup augmenté au cours des derniers siècles, que les établissements horticoles sont en mesure de produire des plantes ornementales en grande quantité, ou que, de nos jours, même au plus froid de l'hiver, il est possible de jouer au football sur un gazon praticable et vert.

Il serait audacieux de prétendre que les collaborateurs hautement qualifiés de l'entreprise Hauert, qui s'occupent depuis longtemps d'horticulture et de nutrition des plantes, ne disposaient d'aucunes informations. Ils ont surtout dû fournir un travail herculéen et coûteux de recherche et de sélection.

L'équipe d'agronomes s'est pleinement investie dans cette tâche et a parfaitement réussi à tirer du «substrat d'information» la bonne mesure de connaissances et de théorie. Revue et corrigée, la huitième édition consacre 12 chapitres clairs et précis aux principaux aspects concernant la fertilisation.

La maison Hauert et ses collaborateurs sont fiers de produire des engrais correctement formulés, économiquement efficaces et écologiquement raisonnables. Grâce au savoir accumulé au cours des ans et à un esprit ouvert aux nouvelles idées, nous sommes depuis de longues années fermement enracinés dans la branche verte.

Avec cette nouvelle édition, nous sommes également fiers de mettre à disposition des professionnels de la branche verte, un élément de base utile à la formation et la pratique, qui propose des informations approfondies sur la nutrition des plantes.

Philipp Hauert

Grossaffoltern, juin 2023

01 Buts de la nutrition des plantes

- **Optimisation de la croissance des plantes et de leur qualité**
- **Assurance durable de la fertilité des sols**
- **Minimisation des impacts sur l'environnement liés à la fertilisation**

Pour pouvoir atteindre ces buts, des connaissances détaillées sur les sols, l'eau, les plantes et les engrais sont nécessaires.

Un approvisionnement selon les besoins des plantes, avec tous les éléments nutritifs nécessaires, est la condition pour une croissance saine et harmonieuse des végétaux. Un approvisionnement approprié constitue le plus efficace moyen de renforcer les plantes.

Parlons de l'histoire des engrais

La production agricole a débuté au Moyen-Orient environ **10'000 avant J.-C.** et a atteint la Suisse environ **5'000 avant J.-C.** sous forme d'une agriculture itinérante. Ainsi dans un lieu, après une collecte intense ou une culture sans fumure, les rendements diminuaient, les gens se déplaçaient alors vers d'autres lieux non encore utilisés.

De -3'000 jusque vers -2'000 ans, on commence a utiliser des moyens de fumure, fumier, paille, excréments humains, limon, varech, cendre, marne, calcaire et gypse. Jusqu'au Moyen-Age, l'agriculture se caractérise par des cycles plus ou moins fermés d'éléments nutritifs sur de très faibles niveaux. A la fin du Moyen-Age, après que l'épidémie de peste ait atteint la population au 14e siècle, la population en augmentation ne pouvait être alimentée. De mauvaises conditions climatiques, comme par exemple, au temps de la réforme vers 1510-1525, et les pertes de récoltes dues aux maladies des plantes ont conduit à un accroissement des famines et des révoltes paysannes.

1663 Création de la maison Hauert comme tannerie de cuir.

Jusque vers 1800, la terre, grâce aux intervalles de jachères et d'assolement des céréales, avait la possibilité de se régénérer et de libérer les substances nutritives. Dans la deuxième moitié du 18e siècle, les expérimentations sont multipliées dans l'agriculture; un représentant connu de ces paysans réformateurs était „Kleinjogg", Jakob Gujer, agriculteur exploitant une ferme réputée à Rümlang dans le canton de Zurich. Il cultivait déjà des plantes pour le fourrage comme le trèfle afin de nourrir le bétail.

Vers 1820, est énoncée la théorie de l'humus d'Albrecht Thaer (1752-1828), directeur de la première académie agricole allemande, selon laquelle la plante peut tirer bénéfices des résidus végétaux et animaux en état de décomposition. La cendre (substance minérale) montrait à ce moment un effet stimulant inexplicable sur la croissance des plantes.

Dès 1840, la théorie des substances minérales se répand. Après des analyses de cendres, des cultures hydroponiques et des essais en pots, Justus von Liebig (1803-1873) résume la théorie existante de la substance minérale dans le livre „Agrikulturchemie". Il montrait qu'un sol, même sans fertilisation humique était fertile et le restait lorsque les substances minérales soustraites lui étaient restituées sous une autre forme.

Durant la période allant **de 1840 à 1930**, la reconnaissance des fondements agrochimiques a conduit à un rapide développement des engrais minéraux solubles à l'eau que nous connaissons aujourd'hui. Après les premiers succès avec les engrais minéraux, sont également rapidement apparus de sérieux problèmes:

- Alimentation déséquilibrée des plantes,
- Négligence dans la gestion de l'humus,
- Dégâts dus à un excès de fertilisation ou un maniement incorrect,
- Atteinte à la qualité des produits,
- Symptômes de carences non expliqués.

Vers 1930, la prise en considération de la fertilité du sol (pH, proportion d'argile, eau, etc.) ainsi que des microéléments (1922-1939) a fait avancer d'un grand pas la fertilisation. En lien avec une protection des végétaux modernes et des avancées dans l'obtention des plantes, les rendements ont fortement augmentés.

Depuis 1967, les cultures horticoles spéciales (plantes en pot, pépinières et gazons) disposent d'engrais longue durée sur la base de granulés enrobés. Cette technologie de fertilisation a été développée depuis. Elle est aujourd'hui indispensable dans ces cultures.

Depuis 1990, la fumure fait partie intégrante de la production intégrée (PI). Parallèlement aux paramètres agronomiques (sol, choix variétal, protection phytosanitaire), l'environnement entre aussi en ligne de compte dans les décisions de plantation (par ex. au niveau du bilan nutritif).

03 L'approvisionnement des plantes en éléments nutritifs

Pour croître, les plantes ont besoin d'un grand nombre d'éléments chimiques. Ceux-ci doivent être disponibles pour être absorbés, par l'intermédiaire des racines ou des feuilles, sous forme minérale. La plante ne différencie pas si ces éléments nutritifs proviennent à l'origine de roches broyées ou moulues, de plantes mortes, d'animaux, de mines ou d'une fabrique de produits chimiques.

Sur un sol sain, bien structuré avec un approvisionnement en substances nutritives équilibré, la plante peut prélever tout ce dont elle a besoin. Mais dans la pratique, ces conditions optimales n'existent que rarement. C'est la raison pour laquelle, afin de pouvoir recréer cet optimum, de vastes connaissances relatives au sol, au prélèvement des substances nutritives et à la fonction des éléments individuels sont indispensables. La culture en substrat (en pot ou en container) ainsi que la culture hors sol sont encore plus exigeantes.

L'importante des substances nutritives individuelles

Groupe		Elément nutritif		Important pour:
Elément de l'eau		eau	H	Elément structurant (substance charpentière)
Elément de l'air		carbone	C	
Elément de l'eau et de l'air		oxygène	O	
Macroéléments ou éléments principaux	Substances nutritives primaires	Azote	N	Croissance, formation de l'albumen et de la chlorophylle; «accélérateur de la croissance»
		Phosphore	P	Transformation des substances énergétiques, formation des racines, fleurs et fruits
		Potasse	K	Gestion hydrique, santé des plantes, résistance au stress, résistance au froid, favorise la formation de réserves
	Substances nutritives secondaires	Magnésium	Mg	Formation de la chlorophylle ; photosynthèse
		Calcium	Ca	Construction et stabilité des parois cellulaires
		Soufre	S	Constituant de quelques acides aminés, (composant de l'albumen)
Microéléments ou oligoéléments		Fer	Fe	Formation de la chlorophylle, transformation des substances énergétiques (composant des enzymes)
		Manganèse	Mn	Photosynthèse (formation de la chlorophylle) réduction des nitrates
		Bore	B	Structure, division, différenciation des cellules, transport des hydrates de carbone
		Zinc	Zn	Formation des hydrates de carbone et de l'albumen
		Cuivre	Cu	Formation de l'albumen, de la chlorophylle, des enzymes
		Molybdène	Mo	Transformation des nitrates en albumen, formation des enzymes

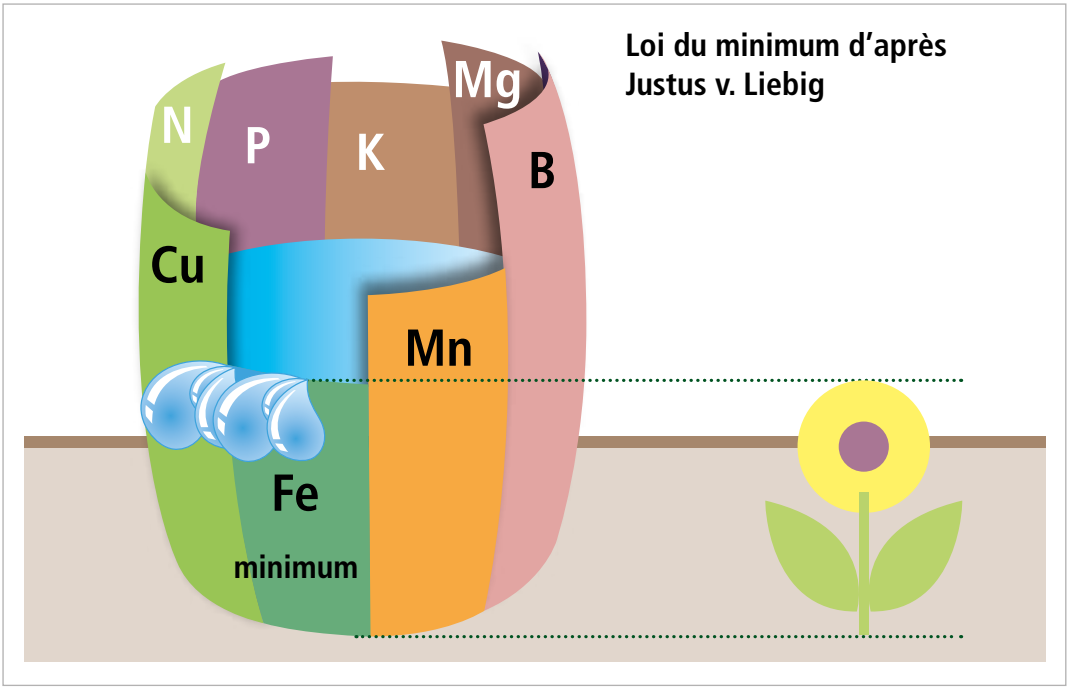
Les descriptions des fonctions spécifiques de ces éléments dans les plantes se trouvent au Chapitre 6 sous Symptômes de carences en éléments nutritifs et mesures de correction (voir page 34 et suivantes).

A côté des éléments vitaux, d'autres métabolites agissent sur la croissance des plantes. Ils sont fabriqués par les plantes elles-mêmes, peuvent même être apportés de l'extérieur, par des engrais organiques, des algues marines, des extraits de plantes ou par des produits synthétiques.

D'une part, les métabolites peuvent agir de manière positive sur la croissance des plantes ou développer un effet gênant sur la croissance des plantes, que ce soit intentionnellement comme avec les réducteurs de croissance ou de manière non souhaitée par des sécrétions de plantes voisines ou des produits de dégradation de résidus de récolte.

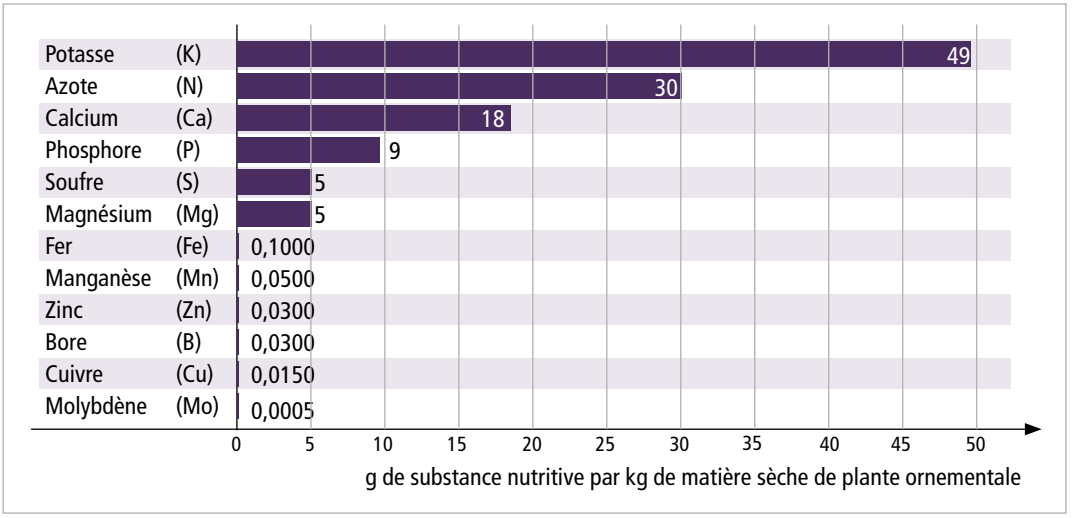
La loi du minimum

Chaque substance nutritive individuelle a une fonction spéciale dans l'alimentation des plantes. Il est important que tous les éléments vitaux pour la croissance des plantes soient disponibles dans la juste proportion car une plante règle sa croissance d'après la substance qui se trouve en plus faible quantité (voir l'illustration du tonneau). Les quantités des substances nutritives nécessaires sont très diverses. Malgré cela, chacune est identiquement importante pour le développement des végétaux.



La loi du minimum se réfère aux besoins relatifs en substances nutritives. Les besoins sont très différents d'un élément à l'autre.

Le graphique suivant montre les besoins moyens (g) pour la production de 1 kg de matière sèche d'une plante en pot, par exemple.



Le prélèvement des substances nutritives par les plantes

La plante prélève la plupart des substances nutritives par l'intermédiaire des racines où chaque substance est prise selon sa forme spéciale (voir tableau). Celles-ci peuvent être absorbées sous forme de molécule (par ex. CO_2, H_2O) ou sous forme de particules électriques (ions). Les ions, cations et anions, sont les constituants des engrais minéraux (principalement des sels minéraux). Les engrais azotés minéraux se composent pour une part de molécules organiques. Celles-ci doivent d'abord être degradées, respectivement minéralisées pour être prélevées par les plantes.

Sous quelles formes les substances nutritives sont-elles prélevées dans le sol?

Parallèlement à l'enracinement (volume et intensité), la concentration des substances nutritives disponibles pour les plantes dans la solution du sol est cruciale pour leur prélèvement.

La plante prend les macroéléments sous forme d'anions (dans les plus hauts niveaux d'oxydation) ou sous forme de cations:

NO_3^-, SO_4^{--}, $H_2PO_4^-$

NH_4^+, K^+, Mg^{++}, Ca^{++}

L'ammoniaque (NH_4^+) peut être bien absorbée par la plante tout comme le nitrate (NO_3^-). Cette forme d'azote n'est cependant présente, dans des conditions normales, qu'après une fertilisation contenant de l'ammonium, et cela pendant un temps court mais en quantités appréciables dans le sol, car après 15-20 jours, l'ammoniaque se transforme en nitrate. Ce processus dépend fortement de la température du sol et de sa nature.

La plante prélève les oligoéléments principalement sous forme de cations bivalents (Fe^{++}, Mn^{++}, Cu^{++}, Zn^{++}). Selon le type de sol, ces ions peuvent être oxydés, ce qui les rend indisponibles pour les racines. Si les microélements sont apportées sous forme de chélate (complexes organo-métalliques) aux plantes, ils sont protégés contre le blocage dans le sol.

Le bore et le molybdène sont prélevés sous leur forme la plus oxydée (HBO_3^{--}, MoO_4^{--}).

Comment les éléments nutritifs sont-ils disponibles pour la racine?

Les substances nutritives dans la solution du sol: une infime partie des substances nutritives sont dissoutes dans la solution du sol. Cette partie est directement assimilable par les racines.

Acidification:

Dans des conditions normales, les plantes prélèvent des ions – cations comme K^+, Mg^{++}, Ca^{++}, en grandes quantités, plus rapidement que les anions indispensables à leur alimentation (NO_3^-, $H_2PO_4^-$, SO_4^{--}, etc.). La plante s'efforce de maintenir un équilibre interne, raison pour laquelle, elle réagit en formant des acides organiques, libérant des ions H^+ par les racines dans le milieu racinaire (terre, substrat ou eau).

La libération d'ions H^+ provoque d'une part une augmentation directe du pH dans la zone racinaire (même lorsque le milieu nutritif est neutre, on peut observer des valeurs de pH de l'ordre de 2,3 - 3 dans la zone du chevelu racinaire). D'autre part, dans les zones de réserve du sol – dans l'argile, l'humus, etc. – des cations liés K^+, Mg^{++}, Ca^{++} ou NH_4^+, sont libérés et rendus disponibles pour les plantes.

Formation de complexes:

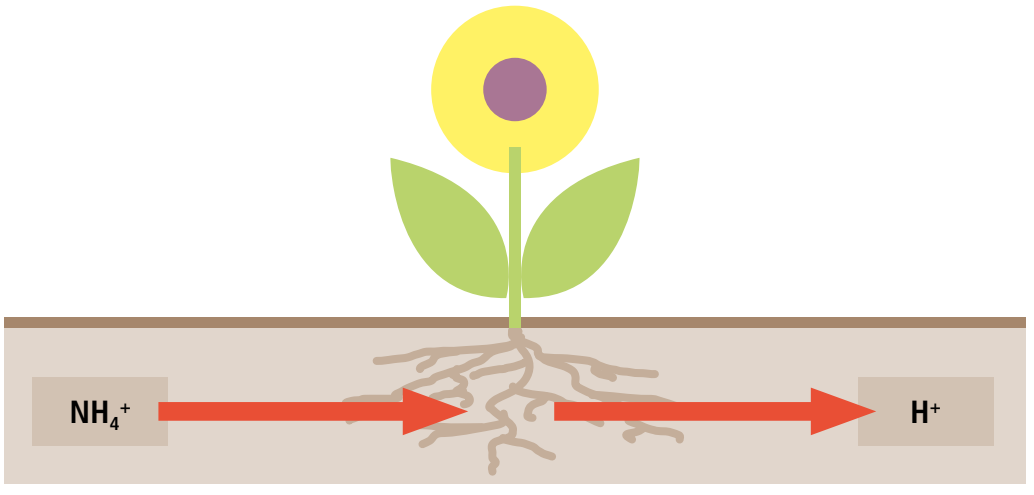
En plus des ions H, les racines sécrètent également des anions organiques. Ceux-ci peuvent partiellement altérer le réseau cristallin sous forme d'ions métalliques chélateur et se complexer en chélates métalliques.

Sécrétion de matières organiques:

La sécrétion de matières organiques par les racines favorise la vie des microorganismes dans la zone racinaire (rhizosphère). Ce processus favorise la décomposition microbienne de composés anorganiques et la fabrication de l'humus. Les champignons, principalement des familles Glomeromycota et Basidiomycota, peuvent également entraîner une meilleure absorption au niveau des racines des plantes hautes. La colonisation des champignons augmente considérablement la surface des racines et donc le potentiel d'absorption. Les champignons vivent en symbiose spécifique avec les plantes supérieures. Lors d'un bon approvisionnement du sol en matières nutritives leur nombre d'espèces augmente rapidement et le prélèvement direct des substances nutritives par les racines dans la solution nutritive domine. Après leur prélèvement dans le sol, les éléments nutritifs sont acheminés des racines aux feuilles à travers le xylème (vaisseaux du bois).

La plante ne peut absorber que très peu de substances nutritives par ses feuilles. Mais si le prélèvement se fait par les feuilles, son efficacité est plus rapide que lors d'une fertilisation par le sol car l'apport est plus ciblé. D'ailleurs, la fertilisation foliaire est particulièrement efficace pour les microéléments où de petites quantités provoquent de grands effets.

Abaissement physiologique du pH dans la zone racinaire



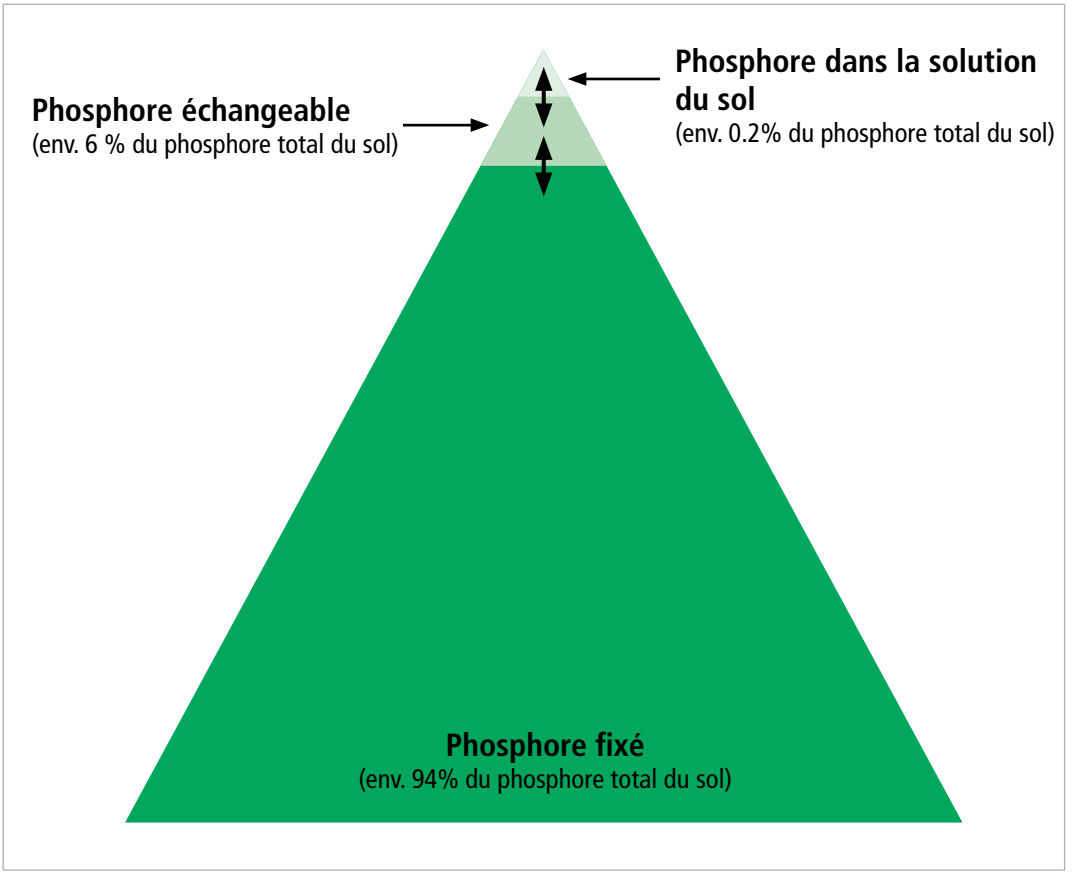
Les réserves nutritives d'un sol

Excepté l'azote, qui sera traité plus loin, les réserves nutritives disponibles pour les plantes le sont principalement sous forme de complexes anorganiques et peuvent être déterminées par des analyses de sol.

Dans le sol, le phosphore forme des liaisons avec le calcium (et le magnésium), lorsqu'il est présent, et avec le fer (et l'aluminium) lorsque le pH est bas. Les cations, comme par exemple la potasse sont par contre stockés dans les particules d'argile. Selon son type, le sol contient plus ou moins de réserves sous les formes décrites.

Une grande part de ces substances nutritives adsorbables peut être échangée contre des ions H+ secrétés lors de la croissance active des plantes. Il en va de même pour les autres substances nutritives qui subissent les mêmes processus dans la solution du sol, c'est-à-dire disponibles pour les plantes, soit échangeables, soit fixées. Avec les méthodes courantes d'analyses des sols, les fractions d'une substance nutritive disponible ou échangeable peuvent être analysées. Un aperçu des méthodes d'analyses courantes se trouve à la page 75.

La disponibilité des substances nutritives, à l'exemple du phosphore



Antagonismes et synergies dans le prélèvement des matières nutritives

Les substances nutritives individuelles sont en corrélation réciproque. Selon la composition des différentes substances dans la solution du sol, des situations de concurrence peuvent apparaître. Une surabondance d'un élément peut bloquer le prélèvement d'un autre. Mais le contraire est aussi possible : telle substance favorise le prélèvement d'une autre. Le tableau suivant montre les plus importantes de ces interactions.

Les plus importantes interactions dans le prélèvement des substances nutritives (dans le sol)

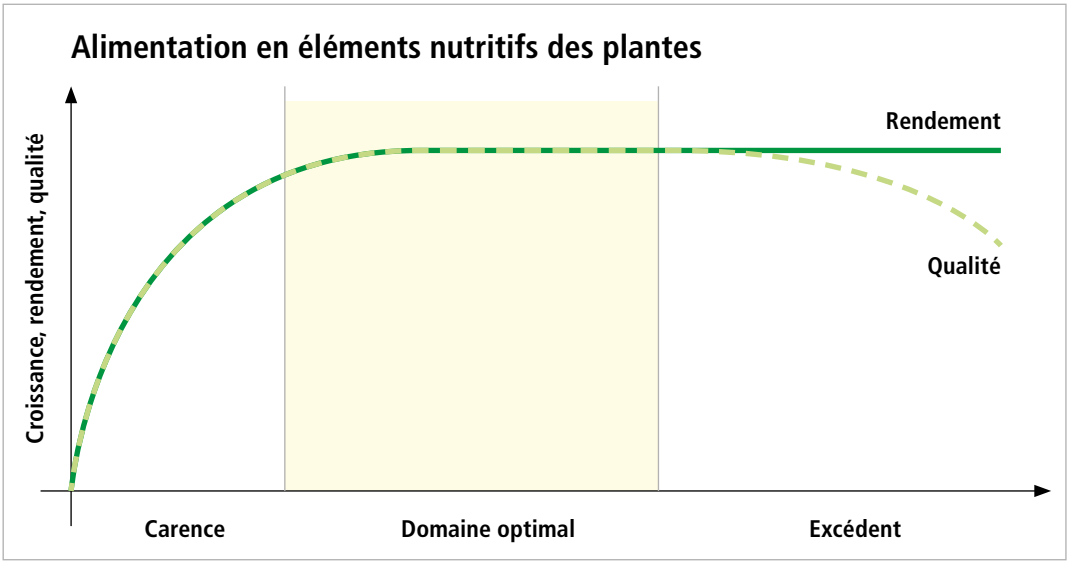
Cause	Effet	
	Perturbe l'assimilation de: (antagonisme):	Favorise l'assimilation de: (synergie):
Concentration élevée de:		
NH_4 (Ammonium)	Ca, Mg, K	P, SO_4 (Sulfate)
NO_3 (Nitrate)	P	Ca, Mg, Mn, K
Ca (Calcium)	K, Mg, Fe, B, Mn	
K (Potasse)	Ca, Mg, NH_4 (Ammonium), B	NO_3 (Nitrate)
Mg (Magnésium)	Ca, K	P
Mn (Manganèse)	Mg, Fe, Zn, NH_4 (Ammonium)	
Cl (Chlore)	P, NO_3 (Nitrate)	Ca
Na (Sodium)	Ca	P
P (Phosphore)	Fe (Ca, B, Cu)	Zn
Cu (Cuivre)	Fe, B	
SO_4 (Sulfate)	Mo	Ca
Zn (Zinc)	P	
Alimentation optimale en:		
B (Bore)		K, Ca, P
Ca (Calcium)		K (Effet Viets)
Carence en:		
B (Bore)	K, Mg, P (=„Accumulation des hydrates de carbone")	
Ca (Calcium)	K	

Influence de l'alimentation des plantes sur le rendement, la qualité et la résistance, c'est-à-dire la tolérance

Dans la nutrition des plantes également, la bonne proportion est déterminante. Un manque aussi bien qu'un surplus d'un élément nutritif agit de manière négative sur le végétal. Si la plante dispose d'une substance nutritive de manière excédentaire par rapport à la proportion optimale, c'est souvent au détriment de la qualité et un excédent provoque davantage de symptômes de dommages (valeur limite de toxicité).

Le graphique ci-dessous présente l'évolution du rendement en fonction des niveaux d'alimentation.

Pour différents oligoéléments, l'optimum se trouve dans une limite étroite. Une sous-alimentation conduit à une carence et une suralimentation mène rapidement à de fortes perturbations du développement. De même, il a été prouvé qu'un approvisionnement suffisant en azote et potasse améliore la résistance à la sècheresse.



Source: A. Finck, Pflanzenernährung in Stichworten (1982; légèrement modifié)

Influences établies d'un approvisionnement croissant en éléments nutritifs sur les résistances, c'est-à-dire, facteurs de tolérance

Une alimentation bien proportionnée des plantes avec tous les éléments nutritifs nécessaire est la mesure la plus efficace de la consolidation des végétaux.

	N	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Mn	B	Zn	Cu	Mo
Facteurs environnementaux												
Froid	–	+	+					+				
Sécheresse	+		+									
Maladies												
Maladies en général			+			+					+	
Mildiou	–	+			+	+			+			
Faible parasitisme	+	+			+	+			+			
Maladie de conservation					+							
Viroses			+									
Insectes												
Pucerons	–		+									
Général			+									
Herbicides (poisons pour les plantes)	(+)		+	+	+	+	+	+	+			

\+ = Tolérance améliorée
– = résistance plus faible

Pour toutes les substances nutritives, un manque ou un surplus alimentaire ont un effet négatif sur la résistance c'est-à-dire les tolérances.

Le cycle de l'azote et l'azote disponible pour les plantes

Pour que les plantes puissent absorber l'azote, celui-ci doit être minéralisé. Les réserves d'azote sont présentes dans le sol sous une forme organiquement liée. Ceci contrairement aux formes nutritives minérales de réserve. Une forte proportion d'humus, c'est-à-dire de composés organiques, indique donc généralement aussi un potentiel considérable d'azote de réserve.

Les plantes n'absorbent l'azote en quantité significative que sous forme minéralisée. La disponibilité dépend donc de la performance de minéralisation, c'est-à-dire de l'activité biologique dans le sol. Ce qui joue un rôle important dans le cycle de l'azote :

- la température,
- l'aération en cas d'humidité du sol suffisante,
- l'offre de nutriments,
- la composition de la substance organique.

En raison de ces mécanismes, le moment où les plantes ont besoin de beaucoup d'azote, c'est-à-dire au printemps, diffère souvent en plein champ de celui où la minéralisation est élevée. Ce phénomène est particulièrement important en été et en automne, lorsque la température du sol est suffisante.

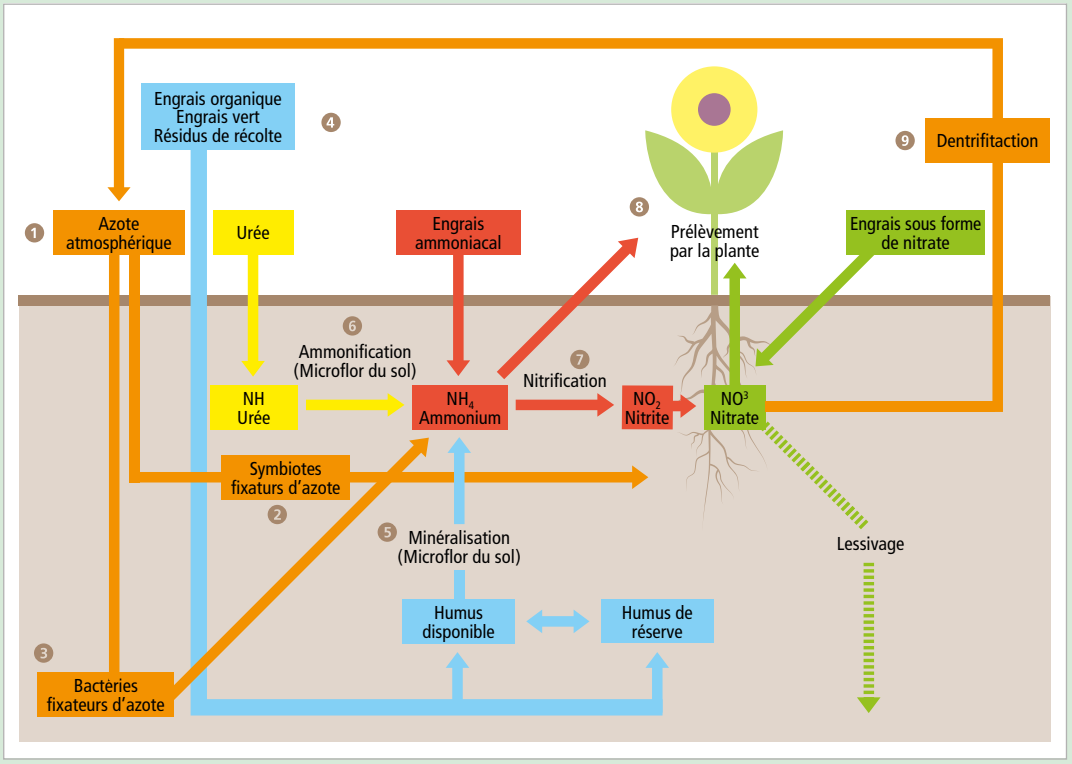
Le cycle de l'azote en bref

1. Dans l'air, l'azote est présent sous une forme que l'on appelle azote atmosphérique (N_2). L'enveloppe de l'air est composée en grande partie d'azote : l'atmosphère en contient 78 % en volume. La majeure partie ne peut pas être utilisée pour les plantes. Seules certaines bactéries peuvent assimiler l'azote de l'air et donc l'utiliser.

2. Les symbiotes fixateurs d'azote (bactéries nodulées) font partie des micro-organismes capables d'utiliser l'azote élémentaire. Les bactéries nodulées ou rhizobiums vivent en symbiose avec les légumineuses qui en tirent profit. C'est ainsi que l'azote de l'air se retrouve dans le monde végétal. La quantité d'azote obtenue par symbiose peut atteindre 150 kg N/ha pour les légumineuses.

3. Les bactéries fixatrices d'azote du sol sont des bactéries qui vivent librement dans le sol et qui utilisent l'azote de l'air pour construire leurs protéines. Par leur intermédiaire, environ 2 à 5 kg N/ha par an pénètrent dans le sol.

4. Dans les engrais organiques, l'azote est lié de manière organique. Sous cette forme, il n'est pas directement utilisable pour les plantes, il doit d'abord être minéralisé.



5. Lors de la minéralisation, l'azote organique est décomposé. Les champignons et les bactéries sont tous deux impliqués dans ce processus.

6. L'ammonium est libéré à partir de différents composés azotés : c'est l'ammonification. Il s'agit souvent de protéines, car elles contiennent beaucoup d'azote. L'ammonification se fait par les bactéries et les champignons du sol.

7. Par la nitrification, l'ammonium est d'abord oxydé en nitrite, puis en nitrate. Ces deux processus sont effectués par des micro-organismes qui en tirent de l'énergie. Le nitrite peut avoir un effet toxique sur les plantes. Il est cependant rarement présent en grande quantité. Le nitrate est plus facilement lessivé que l'ammonium, qui est assez bien retenu par les particules d'argile.

8. Les plantes absorbent l'ammonium et le nitrate sous forme d'ions.

9. Le nitrate dans le sol peut également être dénitrifié. Lors de la dénitrification, les nitrates sont transformés en azote élémentaire et en oxydes d'azote, qui sont ensuite rejetés dans l'air. Après cela, l'azote n'est plus disponible pour la plante ; le cycle de l'azote se referme.

04 Disponibilité des éléments nutritifs dans les sols et dans les substrats de culture

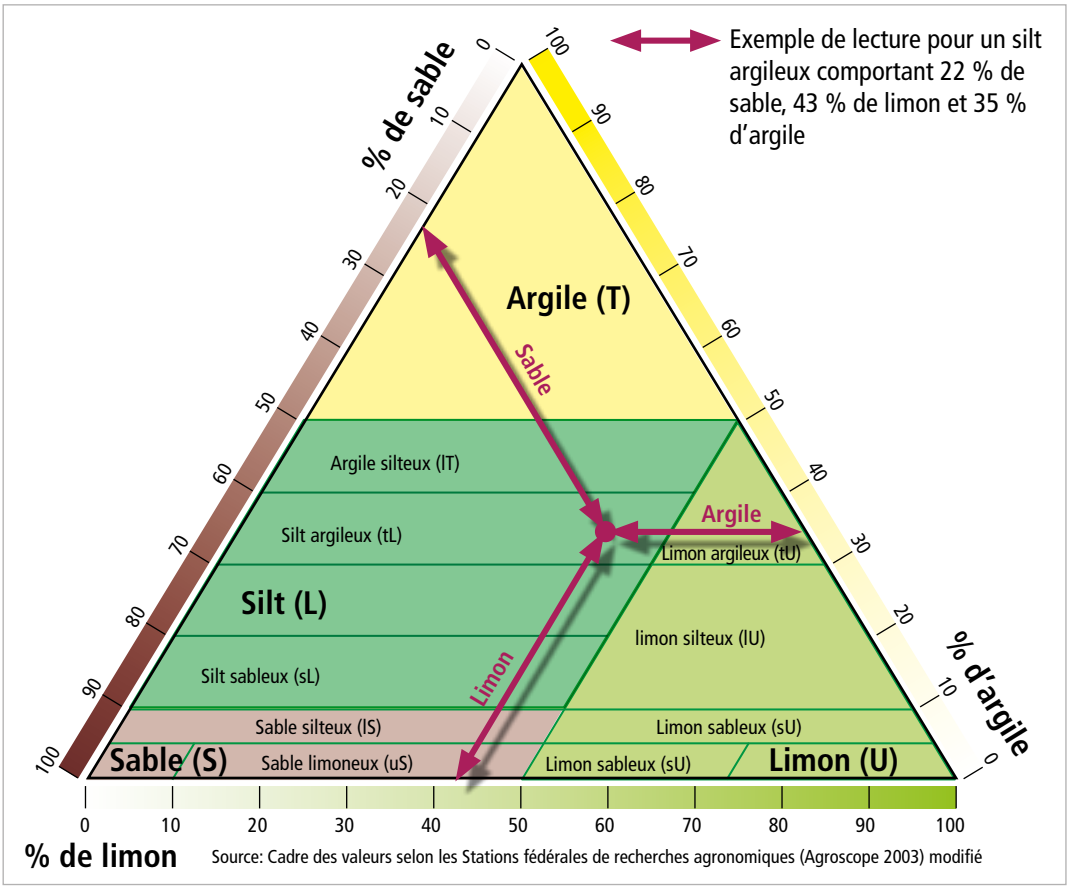
A quelques exceptions près, les plantes se nourrissent par les racines. L'environnement des racines doit donc présenter des conditions favorables à la plante. L'influence possible sur les qualités du sol étant limitée, il est important que les cultures soient adaptées aux qualités du sol. Il est également très important que l'exploitation des sols soit orientée vers le long terme et que le labour soit soigné.

Il en va autrement des substrats de culture. En effet, ceux-ci sont préparés spécifiquement pour une culture et donc adaptés à ses besoins, au lieu et au type de culture.

Les fractions granulométriques et leurs propriétés

Type de sol	Abréviation	Granulométrie (mm)	Stockage des nutriments et de l'eau
Sable	S	0,063 – 2	Mauvaise capacité de stockage des nutriments et de l'eau.
Limon	U	0,002 – 0,063	Bonne capacités de stockage des nutriments et de l'eau pour les plantes. Tendance à la fixation de certains éléments nutritifs (potasse) et à l'envasement.
Argile	T	< 0,002	Lie fortement les substances nutritives et l'eau. La disponibilité peut en être réduite pour les plantes.
Silt	L	Mélange de sable, limon et argile en proportions env. égales	Type de sol avec la meilleure capacité de stockage pour les nutriments et l'eau des plantes.

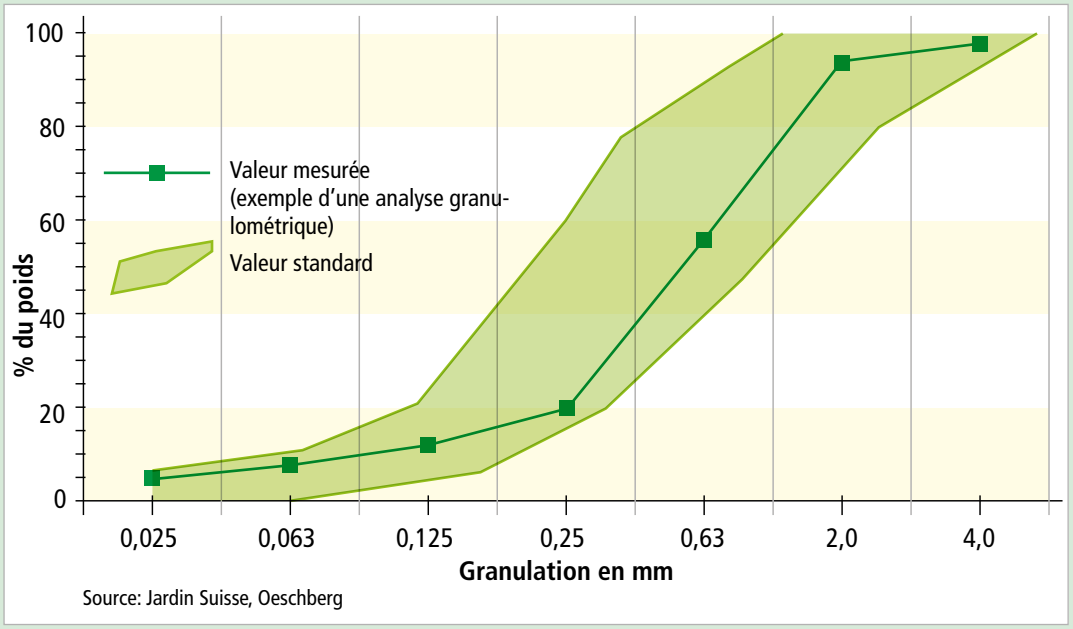
Diagramme: classement des types de sol



Source: Cadre des valeurs selon les Stations fédérales de recherches agronomiques (Agroscope 2003) modifié

Couche portante pour un gazon (construction d'après la norme DIN)

Granulation selon analyse granulométrique



Source: Jardin Suisse, Oeschberg

La répartition granulométrique de la couche portante est essentielle lors de la mise en place d'un gazon. Celle-ci doit en effet assurer une perméabilité suffisante à l'eau. Il faut également prêter attention aux critères de capacité de rétention en eau et de résistance au cisaillement du sol.

Norme DIN pour les gazons (DIN 18035)

- granulométrie selon la courbe de répartition
- Proportion érodable (< 0,063 mm): moins de 8 %
- matière organique: moins de 4 %

Humus

L'humus comprend deux types de matières : d'un côté, la matière organique du sol, qui est produite par la décomposition d'organismes animaux et végétaux ; de l'autre, les acides humiques, produits sur le long terme par la décomposition organique, et qui donnent au sol sa couleur foncée.

L'humus est important pour:

- Une structure grumeleuse,
- Un volume stable des pores pour les sols argileux, afin qu'ils présentent une bonne perméabilité aux gaz et à l'eau,
- La création de conditions favorables aux microorganismes, qui influencent positivement la fertilité des sols.
- Dans l'humus s'accumulent lentement de l'azote et du phosphore disponibles pour les plantes.

L'humus à lui tout seul ne suffit cependant pas, il n'améliore les propriétés du sol qu'en association avec les minéraux argileux. Ainsi, la proportion optimale d'humus dépend de la proportion d'argile, ou de la répartition granulométrique du sol.

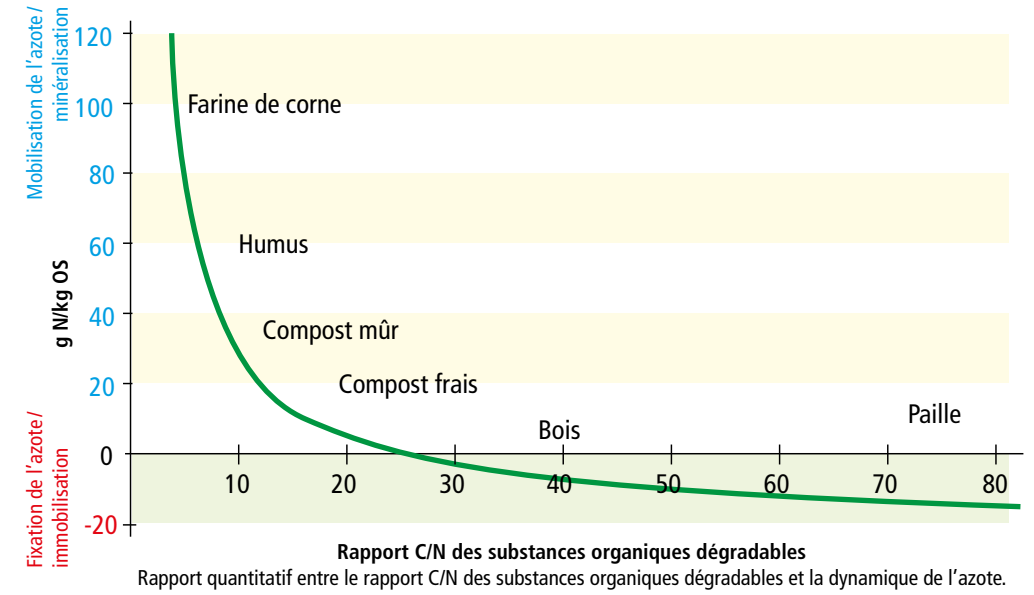
Pour les sols de culture, les valeurs suivantes peuvent être conseillées pour une alimentation normale ou comme référence:

Teneur en argile (%)	Type de sol	Proportion optimale d'humus (%)
< 15	Sable silteux jusqu'à limon argileux	2–5
15–30	Sable argileux jusqu'à silt limoneux	3–6
> 30	Argile sableux jusqu'à argile	4–8

Dynamique de l'azote dans le sol: minéralisation et fixation

L'azote peut être minéralisé à partir de substances organiques dont le rapport C/N (carbone sur azote) est inférieur à 25 et être dégagé dans la solution du sol. Dans des conditions normales (c.à.d. un sol bien aéré et non détrempé), la substance organique se minéralise en nitrate. Si le rapport C/N est supérieur à 25, une quantité croissante d'azote est utilisée pour créer des liens microbiologiques, et donc incorporée dans des substances organiques (comme les protéines). Cela provoque un déficit d'azote minéral dans la solution du sol (fixation de l'azote).

Rapport C/N et mobilisation de l'azote



Rapport quantitatif entre le rapport C/N des substances organiques dégradables et la dynamique de l'azote.

Raclures de corne, compost, paillis d'écorce, paille ; selon la matière organique, l'azote est minéralisé ou fixé lors de sa décomposition.

La réaction chimique du sol

On mesure la réaction du sol d'après la valeur de son pH. Plus il y a d'ions d'hydrogène (H^+) disponibles dans la solution du sol, plus le pH est bas et le sol acide. En tenant compte de la valeur de pH nécessaire à une culture, on peut apprécier ses propriétés et, si besoin est, effectuer une fumure calcaire (cf. chapitre 12).

Les valeurs de pH très basses (milieux très acides) sont particulièrement critiques. Les minéraux argileux du sol se désagrègent alors et des concentrations toxiques d'aluminium sont libérées. D'autre part, les sols très basiques rendent difficile l'assimilation du bore, du fer et du manganèse par les plantes.

Classement des sols d'après leur pH

pH (H_2O)	Evaluation	Nécessité en calcaire [1)]
en dessous de 5,3	très acide	fumure ou amendement calcaire nécessaire
5,3 – 5,8	acide	fumure ou amendement calcaire nécessaire
5,9 – 6,7	légèrement acide	Utiliser un engrais calcaire
6,8 – 7,2	neutre	pas de fumure calcaire
7,3 – 7,6	légèrement alcalin	pas de fumure calcaire
en dessus de 7,6	alcalin	pas de fumure calcaire

[1)] Les recommandations sont très simplifiées. Pour plus de précision, il faut également tenir compte des paramètres suivants:
– Teneur du sol en argile et en humus
– Exploitation du sol (culture maraîchère, agriculture respectivement prairie ou gazon)

La structure du sol (structure grumeleuse et stabilité de la structure) est généralement mauvaise lorsque le pH présente des valeurs basses et bonnes lorsque les valeurs sont élevées. Cela est dû au fait qu'en présence d'un pH élevé, l'approvisionnement en calcaire est meilleur. Le calcium contenu dans le calcaire stabilise la structure grumeuleuse et agit ainsi positivement sur la texture du sol.

La majorité des cultures préfèrent un sol neutre ou légèrement acide; en effet, la solubilité de la plupart des nutriments nécessaires à la croissance des plantes se citue dans des valeurs de pH comprises entre 6,3 et 6,8. Certaines plantes privilégient cependant un milieu plus acide (par exemple les pommes de terre, les fraises, les plantes calcifuge comme les hortensias et les rhododendrons) ou plus basique (comme les choux).

En cas de valeurs élevées ou faibles du pH, les éléments nutritifs sont fixés et difficilement assimilables par les plantes. Une valeur faible du pH dissous les ions d'aluminium ou de manganèse, qui sont alors disponibles en quantités nuisibles pour les plantes.

Les valeurs de pH suivantes sont conseillées pour la majorité des cultures de pleine terre:

Valeur du pH dans 0,01 M $CaCl_2$ (d'après Schachtschabel)	Valeur du pH dans l'eau (mesures générales)	Groupes de culture
5,0 à 5,5	5,5 à 6,0	Espèces acidophiles
5,4 à 6,0	5,9 à 6,5	Légumes (la plupart), plantes ligneuses, comme les sapins, les roses et les arbres fruitiers
6,0 à 6,5	6,5 à 7,0	Plantes annuelles, herbes aromatiques (la plupart), arbustes, érables, gazons, choux

Il faut maintenir des valeurs très basses (4,5 – 5,0) pour les rhododendrons, les fraises, les bruyères, les hortensias et les autres plantes calcifuges.

Les cultures comme la bruyère commune (Calluna), la bruyère (Erica gracilis), le surfinia, les gentianes acidophiles et les hortensias bleus, ainsi que certaines agrumes et cultures de myrtilles développent une chlorose lorsque le pH n'est pas suffisamment bas. Cela est souvent dû à une disponibilité et une mobilité insuffisantes du fer et des autres oligo-éléments.

Avec un pH trop élevé, les hortensias bleus perdent leur couleur caractéristique.

Réglage du pH du sol

Les sols et les substrats ont une capacité d'adaptation plus ou moins élevées aux variations du pH. La résistance aux fluctuations du pH est importante, car les plantes et les organismes du sol sont très sensibles aux variations soudaines du degré d'acidité. Ces changements peuvent être dus par exemple à l'activité biologique du sol ou à la fumure.

La **solution tampon** représente la capacité à résister aux changement de pH par l'ajout d'ions $H^{+1)}$ ou OH^-. Une diminution du pH (= augmentation de la concentration de ions H^+ dans la solution du sol) est neutralisée par le système tampon, qui absorbe les ions H^+ et en prive ainsi la solution du sol.

Le système s'oppose de façon similaire à une **augmentation du pH**. A la suite de l'échange cationique, des ions H^+ sont libérés. Les ions OH^- ajoutés, basiques, et les ions H^+ libérés, acides, s'assemblent pour former de l'eau (H_2O), qui n'influence pas la valeur du pH.

Si le pouvoir tampon est épuisé, le pH varie fortement à l'addition supplémentaire d'ions H^+ ou OH^-.

Il faut également souligner qu'un sol ayant une grande capacité d'échange contient plus de calcaire pour augmenter le pH (une plus grande quantité d'ions H^+) qu'un sol sablon-neux ayant une capacité d'échange plus faible.

[1)] L'ion H^+ se fixe en milieu aquatique à la molécule d'eau et forme l'ion hydronium (H_3O^+). Pour plus de clarté, nous utiliserons ici la notation H^+, plus simple mais tout aussi correcte.

Le réglage du pH

Trois solutions tampons

Le sol dispose principalement de trois solutions tampons pour réagir assez rapidement aux variations du pH.

- **Carbonate:** cette solution tampon émane des carbonates, en premier lieu du calcium. Celui-ci constitue la meilleure solution tampon pour les substrats dont le pH va de 6 à 7,5. Dans ce milieu, le calcium et le bicarbonate qui se forme peuvent équilibrer efficacement les ions H^+. Une **eau d'arrosage dure** augmente le pouvoir tampon et peu même augmenter le pH. Une **eau douce** (comme l'eau de pluie), au contraire, peut amener au lessivage du calcium, ce qui entraine une baisse considérable du pH lorsque la régulation repose surtout sur le carbonate.

- **Substances organiques:** les composés organiques, surtout les humates, permettent l'absorption d'ions H^+ ou l'échange avec des ions fixés comme Ca^{++} et K^+. Ce système tampon agit surtout lors d'un pH supérieur à 5. Il s'agit du système tampon adapté pour les sols riches en humus et les substrats de compost ou de tourbe.

- **Échange cationique dans les couches silicatées (argile):** sur la surface négativement chargée des particules d'argile (<0,002 mm), des cations comme Ca^{++}, K^{++} et Mg^{++} sont généralement fixés. Si la concentration de ions H^+ augmente (le pH de la solution du sol baisserait donc), le ion H^+ déplace des cations de la particule d'argile et se fixe à l'argile. Les cations détachés étant soumis au lessivage, il faut s'assurer à travers une fumure, calcaire ou autre, d'augmenter les cations (cf. tableau „Classement des sols d'après leur pH", p. 19). On peut utiliser le tampon d'échange dans un milieu ayant un pH entre 5 et 4,2; cependant, en-dessous de 4,5, il y a un risque que de l'aluminium soit libéré en proportions toxiques pour les plantes. Cette solution tampon est la plus utilisée pour les sols pauvres en calcaire et en humus.

Les valeurs du pH et de la CE peuvent être mesurées à l'aide d'appareils simples. Il est recommandé d'avoir un appareil de ce type à disposition sur chaque site de production pour procéder au contrôle des cultures.

L'échange cationique

La **capacité d'échange cationique potentielle** (CEC, T) est une mesure pour la somme des cations basiques échangeables. Il est clair que le nombre de sites de fixation se charge négativement lors de l'échange cationique dans le sol. Elle dépend du type de sol (quantité d'argile), de la production de minéraux ainsi que de la surface spécifique (surface effective). La CEC constitue une importante valeur caractéristique du sol et joue également un rôle auprès des substrats.

La **distribution effective de cations** (S) donne la quantité d'ions alcalins (K^+, Na^+) et alcalino-terreux (Mg^{++}, Ca^{++}) échangeables (cations échangeables). Ainsi, le nombre de sites effectivement occupés par des cations peut être estimé.

Le **taux de saturation** du sol (V, S/T) donne le pourcentage des sites de la CEC occupés par des cations K^+, Na^+, Mg^{++} et Ca^{++}. Le calcium, le magnésium et le potassium sont des éléments nutritifs importants pour les plantes : ainsi, des données sur la saturation permettent de déduire la fertilité du sol. Le taux de saturation supérieur de 80 % pour les sols minéraux sont possible.

Risque de lessivage pour les anions

Les éléments nutritifs importants comme l'azote, le phosphore et le soufre sont présents dans le sol sous forme de composés dissous ou facilement solubles, les anions. Contrairement au procédé d'échange décrit pour les cations, il n'existe pas de système semblable pour les anions. Dans le sol, ils forment tout au plus certains composés avec les cations. Le phosphore s'allie bien au calcium, lorsqu'il y en a à disposition. Avec un pH supérieur à 5,5 la solubilité dans l'eau des composés de phosphate et calcium diminue à mesure que le pH augmente. Le phosphore est ainsi largement à l'abri du lessivage. Le nitrate (NO_3^-) et le sulfate (SO_4^{--}) ne peuvent être suffisamment liés de cette manière, ils sont à peine retenus dans le sol et donc facilement lessivés (nitrate dans la nappe phréatique). En même temps que le nitrate et le sulfate, une quantité équivalente de cations (Ca^{++}, Mg^{++}, K^+) sont entrainés et lessivés. Pour cette raison, il ne faut recourir à une fertilisation à l'azote et au soufre que pendant la période de végétation.

Salinité

Les nutriments facilement disponibles dans la solu-tion du sol sont les sels dissous (anions et cations). En tant qu'électrolytes, ils conduisent l'électricité dans les solutions aqueuses; plus la concentration de sels dissous est élevées, plus grande est la conductivité. Identifier la **conductivité** permet ainsi d'estimer les éléments nutritifs présents dans le sol. La tolérance aux sels varie beaucoup d'une plante à l'autre.

Quelques principes sur la tolérance au sel

- Les semis et les boutures sont plus sensibles aux sels que les plantes plus âgées.
- Dans les substrats, vu la faible masse volumique, le seuil de tolérance est en général plus élevé que dans les sols âgés.

Tolérance au sel	Très élevée (peu sensible)	Élevée	Moyenne	Faible (sensible)
Plantes ornementales	Chrysanthemum indicum Pelargonium peltatum Pelargonium zonale Hydrangea macrophylla	Ageratum houstonianum Alamanda cathartica Begonia Elatior hybr. Begonia de Lorraine hybr. Bougainvillea glaubra Cissus antarctica Clerodendron Codiaeum variegatum Sinningia hybride Crossandra Cyclamen Dieffenbachia Euphorbia pulcherrima Variétés de Ficus Variétés de Fuchsia Variétés d'Hedera Hibiscus Rose de Chine Kalanchoe hybride	Achimenes longiflora Asparagus plumosus Begonia-Rex hybride Calceolaria hybride Campanula isphylla Gardenia jasminoides Marantha-Arten Nephrolepis exaltata Primula malacoides Primula vulgaris Rhododendron simsii Salvia splendens Streptocarpus hybride Vriesea splendens	Cultures de jeunes plantes Multiplication Variétés d'Adiantum Erica gracilis (bruyères) Fougères Presque toutes les orchidées
Légumes	Choux Concombres Céleris Tomates	Epinards Salsifis Radis Chou-rave Pommes de terre Poivrons Melons	Oignons Carottes Betterave rouge Fenouils Salades	Haricots Pois
EC dans les substrats (mS/cm dans 1:1.5 vol. extr.)	1,8 – 2,4	1,2 – 1,8	0,6 – 1,2	0,4 – 0,6
Salinité (g KCl/l substrat)	2,0 – 2,7	1,3 – 2,0	0,7 – 1,3	0,45 – 0,7
EC dans les sols sous serre (mS/cm dans 1 :1.5 vol. extr.)	0,6 – 0,9	0,3 – 0,6	0,2 – 0,4	0,1 – 0,3
Salinité (g KCl/l substrat)	0,7 – 1,0	0,35 – 0,7	0,25 – 0,45	0,15 – 0,35

Substrat de culture

Les substrats riches en compost et les terreaux ont une bonne capacité de stockage des éléments nutritifs et de l'eau. Ils sont cependant peu indiqués pour les cultures sensibles aux sels et les semis. Ils ont souvent un pH élevé et contiennent beaucoup de phosphate et de potasse. En outre, si le niveau de décomposition est insuffisant, la fixation de l'azote peut entrainer une réduction de la croissance.

Les substrats riches en tourbe ont une capacité limitée de stockage des éléments nutritifs. Il est ainsi judicieux de recourir à une fumure avec un engrais longue durée. La capacité de stockage peut en effet être améliorée avec un ajout d'argile (terre franche argileuse, bentonite).

Les terres de semis sont composées essentiellement de tourbe et de sable, avec de faibles quantités d'éléments nutritifs ou de sel, car les plantules sont sensibles aux sels.

Fumure des substrats

L'engrais de fond complète les nutriments contenus dans les substrats pour couvrir les besoins en début de culture. On utilise des substrats enrichis avec des engrais de fond principalement pour les cultures dont les besoins nutritifs seront couverts par des engrais liquides ou des sels nutritifs.

En cas de **fumure partielle**, on ajoute au substrat un engrais longue durée qui couvrira les besoins nutritionnels de la première phase de culture. Dans la deuxième phase de la culture, on aura recours à une fumure d'appoint (sous forme d'engrais de surfaçage ou sous forme liquide).

En cas de **fumure totale**, on utilisera un engrais longue durée pour toute la durée de la culture. Aussi bien pour la fumure partielle que totale, on peut doser l'engrais longue durée lors de la plantation avec une fumure localisée.

Critère	Fumure partielle	Fumure totale
Travail nécessaire pour la fumure	Fumure d'appoint nécessaire	Pas de fumure après la plantation
Contrôle optimal de la fumure	Pour la fumure d'appoint, la quantité peut être adaptée à l'état de la culture	On ne peut intervenir en cas de croissance trop forte.

Attention:
Si un engrais soluble dans l'eau (comme „PG Mix") a déjà été administré au substrat, il faut en tenir compte au moment de déterminer la quantité d'engrais longue durée afin que la salinité du substrat n'augmente pas trop.

Cyclamen persicum, marchandise prête à la vente sur le site de production.

Analyse optimale de la valeur des substrats de culture

Analyse	Optimal pour		
	Cultures sensibles aux nutriments (semis)	Cultures ayant un besoin moyen en nutriments	Cultures ayant un besoin élevé en nutriments
Nutriments hydrosolubles extraits à l'eau (g/m³)			
N (NO_3-N + NH_4-N)	40 – 80	80 – 170	170 – 280
P_2O_5	15 – 30	30 – 60	60 – 110
K_2O	95 – 190	190 – 280	280 – 380
Mg	10 – 25	25 – 50	50 – 70
Ca	40 – 120	120 – 200	200 – 320
Réserve de nutriments / extraits d'acétate d'ammonium – EDTA (g/m³)			
P_2O_5	45 – 85	85 – 170	170 – 340
K_2O	120 – 230	230 – 470	470 – 940
Mg	30 – 60	60 – 120	120 – 250
Ca	240 – 480	480 – 960	960 – 1900
Fe *)	5 – 10	10 – 55	55 – 110
Mn *)	2 – 10	10 – 25	25 – 55
Cu *)	1 – 3	3 – 5	5 – 15
Zn *)	1 – 2	2 – 10	10 – 25
B *)	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	0,5 – 1
Salinité			
mS/cm	0,4 – 0,6	0,6 – 1,2	1,2 – 1,8
Valeur du pH (eau)	Bas	Adapté	Haut
	5,5 – 6,5	6,5 – 7,5	7,5 – 8,0

*) Afin d'assurer la nutrition, ces valeurs doivent être obtenues dans des substrats légers. Les valeurs sont souvent plus élevées dans les composts et les mélanges de compost et de substrats. D'ordinaire, elles restent cependant adaptées aux plantes.

Niveau de maintien dans l'approvisionnement en nutriments

Pour assurer une nutrition suffisante de la culture, les quantités de substances nutritives dans les substrats ne doivent pas descendre en-dessous des quantités suivantes pendant toute la durée de la culture (si besoin est, recourir à une fumure d'appoint).

Analyse	Analyse des valeurs minimales des substrats (niveau de maintien)		
	Cultures sensibles aux nutriments (semis)	Cultures ayant un besoin moyen en nutriments	Cultures ayant un besoin élevé en nutriments
Nutriments hydrosolubles extraits à l'eau (g/m³)			
N	60	120	220
P_2O_5 *)	25	40	90
K_2O	100	220	330
Mg	15	30	60
Valeurs de contrôle d'EC (Extrait 1 : 1,5 volume)			
mS/cm	0,5	1	1,5

*) La solubilité dans l'eau du phosphore dépend fortement du pH. Si la quantité de P hydrosoluble n'est pas obtenue avec un pH supérieur à 6,5, il faut prendre en compte la réserve de P pour l'estimation.

Propriétés des composants utilisés dans la fabrication des substrats

		Propriétés pour la production						Propriétés écologiques	Remarques
pH		Teneur en nutriments	Salinité	Fixation de l'azote	Capacité de rétention de l'eau	Quantité de pores pour l'air	Stabilité de la structure	Matière première renouvelable	
Produits organiques									
Tourbe	Bas	●○○	●●●	●●●	●●●	●●○	●●○	Non/sous conditions	De production durable
Compost déchets végétaux	Haut	●●●	○○○ 1)	●○○ 1)	●○○	●○○	○○○	Oui	Peut endiguer les maladies
Fibres de bois	Bas à neutre	○○○	●○○	●○○ 2)	●○○	●●○	●○○	Oui	
Humus d'écorce	Neutre, bonne régulation	●●○	●●○	●○○ 2)	●●○	●●○	●○○	Oui	Bonne capacité d'échange
Fibres de coco	Bas à neutre	●○○	●●○ 3)	●●○	●●○	●●○	●●○	Oui	Privilégier des fibres ayant une faible salinité
Glume de riz	Neutre	○○○	●●○	●●○	○○○	●●○	●●○	Oui	
Fibres de chanvre	Neutre	○○○	●●○	●○○ 2)	●○○	●○○	●●○	Oui	Fibre très stable, ne travailler qu'avec des outils spéciaux
Produits minéraux									
Pierre volcanique	Neutre	○○○	●●●	●●●	○○○	●●●	●●●	Non	
Argile	Neutre	●○○	●●○	●●●	○○○	○○○	○○○	Non	Facilite et améliore la ré-humidification et augmente la capacité de stockage des nutriments
Perlite, vermiculite	Neutre	○○○	●●●	●●●	●○○	●●●	●●● ●○○	Non	Ressemble au polystyrène, production énergivore
Terre franche	+/- neutre	●○○	●●○	●●●	●○○	○○○	●○○	Non	Lourd, contient souvent des graines de mauvaises herbes

1) La salinité peut varier selon la qualité et la maturité du compost (mauvais > 4 g par l, bon 2,5 g par l).
2) Compostage ou fermentation préalable nécessaire, avec un apport d'azote, afin d'éviter la fixation d'azote.
3) Les noix de coco qui ont été préalablement trempées dans l'eau de mer ont une salinité plus élevée.

○○○ bas, c'est-à-dire non idéal ●●● haut, c'est-à-dire idéal

(Source: Substrate im Ökolandbau: fiBL/IGZ/Uni Kassel 2005)

Exigences et recommandations pour différents substrats

Semis et enracinement

- Salinité très basse (surtout le chlorure) et pH neutre
- Prudence avec les composts: maximum 20 % de compost de bonne qualité
- Pas de fumure ou très peu
- Proportions possibles pour le mélange: 70 – 80 % de tourbe blonde à demi décomposée, 20 – 30 % de perlite et argile
- L'ajout de perlite permet d'améliorer l'aération du substrat

Mottes pressées pour jeunes plants de légumes (cubes de substrats entre 3 et 12 cm d'arête)

- 70 – 80 % de tourbe. Une grande proportion de tourbe noire très décomposée améliore la capacité de pression
- En général, 20 – 30 % de compost suffisent pour l'alimentation en phosphore et en potasse
- Fumure moyenne (250 – 350 mg N par l de substrat)
- Proportions possibles pour le mélange: 70 – 80 % de tourbe noire, 20 – 30 % de compost de déchets végétaux

Plaques multitrous (trays de culture) pour jeunes plants de légumes (volume des godets: de 15 à 20 ml)

- 70 – 80 % de tourbe, blonde et noire pour une bonne structure
- Fumure moyenne nécessaire: 250 – 350 mg N par l de substrat. Les cultures ayant une durée de vie plus longue ont besoin de complément d'azote et en général aussi de phosphore.
- Proportions possibles pour le mélange: 30 – 40 % de tourbe noire et blonde et compost de déchets végétaux
- Bien tamiser le mélange pour un bon remplissage des godets

Substrats pour les herbes aromatiques empotées (pour des pots de 9 à 14 cm de diamètre)

- 50 – 80 % de tourbe, de préférence blonde pour une bonne structure
- Fumure modérée (300 mg N par l de substrat), afin d'éviter une salinité élevée et d'assurer ainsi une germination régulière avec la technique culturale simplifiée.
- L'ajout de composants minéraux, comme la pierre volcanique, améliore la structure et la teneur en eau (idéal pour les espèces aimant la sécheresse, comme le thym)
- Proportions possibles pour le mélange: 30 % de tourbe blonde, 30 % de compost de déchets végétaux et 20 – 30 % de fibres de coco, poudre de coco ou fibres de chanvre

Pot de terre pour plantes ornementales et vivaces (pour des pots de plus de 9 cm de diamètre)

- 30 – 50 % de tourbe (selon nécessité)
- On peut ajouter avec succès: jusqu'à 40 % de compost, copeaux, humus d'écorces, fibres et poudre de coco
- Fumure moyenne à haute (jusqu'à 800 mg N par l de substrat), selon l'espèce
- Proportions possibles pour le mélange: 30 – 60 % de tourbe blonde, 30 % de compost de déchets végétaux et 20 – 40 % de poudre et fibres de coco, fibres de chanvre, pierre volcanique ou autres

Substrats spéciaux

- **Substrats pour plantes calcifuges:** pour une valeur de pH basse, une grande quantité de tourbe ainsi qu'un ajout de soufre élémentaire sont nécessaires (surtout lorsque l'ajout de compost dans le substrat est nécessaire). Les myrtilles peuvent être cultivées avec succès dans de la sciure d'épicéa avec ajout périodique de soufre et de fertilisants azotés liquides et organiques.
- **Substrats pour plantes succulentes:** utiliser une grande quantité de composants minéraux (comme la pierre volcanique) pour des teneurs en sels et en éléments nutritifs basses

(Source: Substrate im Ökolandbau: fiBL/IGZ/Uni Kassel 2005)

Substrats sans terre (Hors-sol)

Les substrats hors-sol jouent un rôle de support pour les racines. Ils ne doivent donc pas contenir de composants organiques rapidement dégradables.

Les substrats minéraux (laine de roche) constituent uniquement un support pour les racines et n'ont qu'une très faible capacité de rétention pour les éléments nutritifs ou l'eau.

Les substrats organiques (fibres de coco, etc.) retiennent une certaine quantité d'éléments nutritifs, ce qui complique cependant la culture. Etant donné la meilleure rétention d'eau par rapport à la laine de roche, une brève interruption du système d'irrigation et de fertilisation a des répercussions moins catastrophiques.

Substrats pour l'hydroculture

Pour l'hydroculture, le substrat est minéral et se compose d'argile expansée ou du gravier d'origine volcanique.

Propriétés importantes:
- N'influence pas la valeur du pH de manière significative,
- Aucune capacité de rétention d'éléments nutritifs (alimentation continue par fertigation), la zéolithe ou l'argile ne sont pas adaptées,
- Exempt de calcium,
- Bonne capacité de rétention d'eau et bonne capillarité.

L'argile expansée

Le gravier d'origine volcanique

Lors de la fumure, il faut faire attention à ce que la capacité tampon du substrat n'affecte pas ou peu les fluctuations du pH. Il faut donc être attentif à la relation entre les deux formes de l'azote, l'ammonium et le nitrate, dans l'engrais. En utilisant de l'eau dure, on peut subvenir à la moitié des besoins en azote avec de l'ammonium. Plus l'eau est douce, plus la proportion d'ammonium doit être élevée. Il faudrait éviter d'utiliser de l'urée, car cela peut conduire à des variations incontrôlées du pH.

Un pH inférieur à 5 devrait être évité, car du nitrite peut se concentrer en cas de pH bas et les composants du substrat peuvent alors libérer de l'aluminium. Il s'agit de deux éléments toxiques pour les plantes, déjà à de très faibles concentrations.

L'importance de l'eau pour les plantes

Les plantes ont besoin d'eau pour trois raisons:

- **Les éléments H (hydrogène) et O (oxygène) constituant la molécule d'eau sont importants pour la formation de matières organiques.**
- **Les plantes contiennent beaucoup plus d'eau que de matières organiques. L'eau est responsable de la pression cellulaire, c'est-à-dire de la turgescence (exception: plantes ligneuses).**
- **Transport des éléments nutritifs et refroidissement (transpiration).**

Au cours de sa croissance, la plante prélève beaucoup plus d'eau qu'elle n'en a besoin. L'eau en surplus est évaporée par les feuilles lors de la transpiration. Sur l'ensemble de l'eau prélevée au cours de la végétation, seul environ 1-2% reste dans le produit récolté. Dans le bilan global de l'eau utile (évapo-transpiration), l'évaporation par la surface du sol est d'une grande importance.

Pour produire 1kg de matière sèche, les plantes en plein champ ont besoin d'environ 400-800 litres d'eau. Sous serre, ces valeurs d'utilisation effective de l'eau en culture sur sol sont 2 à 3 fois supérieures en raison du manque de précipitations et d'une évaporation plus forte.

Le choix de l'irrigation, c'est-à-dire du système de culture, offre la possibilité d'économiser de l'eau, avec un système goutte à goutte, un système hors-sol ou un système en circuit fermé. De cette manière, les besoins sont réduits, même en culture sous abris, de 150-350 litres par kg de matière sèche.

La **capacité de rétention en eau** d'un sol dépend fortement du type de sol. Les sols argileux et limoneux peuvent stocker de grandes quantités d'eau disponibles pour les plantes (quantité d'eau d'un sol saturé après que l'eau des gros capillaires ait été absorbée par le sol).

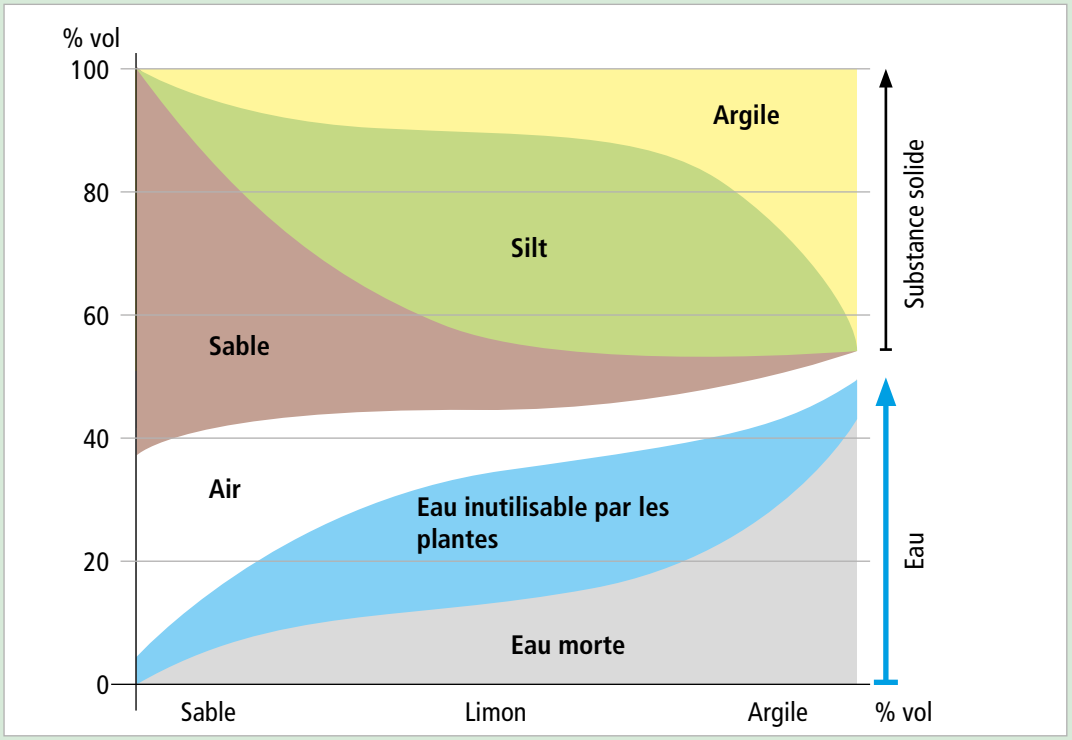
Si le sol est arrosée sur 30 cm avant que les plantes n'atteignent le point de flétrissement permanent, (attendre jusqu'à ce point provoquerait déjà des dommages aux plantes), on obtient les valeurs suivantes, en rapport avec le type de sol:

Type de sol	Quantité d'eau maximale par arrosage (mm d'eau = litres/m²)	Intervalle entre les arrosages pour des besoins journaliers de *):	
		3 l/m²	6 l/m²
Sable (S)	13	4 jours	2 jours
Sable argileux (IS)	22	7 jours	4 jours
Argile sablonneux (SI)	24	8 jours	4 jours
Limon (L)	30	10 jours	5 jours

*) Selon la température, le vent et le type de plante.

Capacité de rétention en eau des sols

Les précipitations qui tombent sur le sol s'écoulent soit comme eau de surface ou s'infiltre dans le terrain. Le sol retient une partie de l'eau comme eau d'adsorption contre la force de gravitation ou pesanteur. L'eau d'adsorption entoure les particules du sol comme une enveloppe microscopique (eau d'adsorption) et remplit le réseau des fins capillaires du sol (eau de capillarité ou réserve utile). La quantité d'eau qui peut être retenue dans un sol contre la pesanteur s'appelle la **capacité au champ**, elle traduit la **capacité de rétention** du sol. L'eau absorbée atteint tôt ou tard la nappe phréatique à travers le système des gros pores du sol. Les plantes couvrent leurs besoins en eau à partir de l'eau de gravité ou par remontée capillaire depuis la nappe phréatique. Toutefois, les plantes ne peuvent utiliser que l'eau de gravité que leurs racines peuvent extraire du sol avec leur force d'aspiration. Cette portion est appelée **eau utilisable par les plantes** ou **réserve utile** (R.U.). Elle comprend l'eau du sol retenue dans les pores moyens (0,0002-0,01 mm Ø) et les pores grossiers drainant lentement (0,01-0,05 mm Ø). La part d'eau retenue dans les pores fins (Ø inférieur à 0,0002 mm) et qui n'est plus disponible pour les plantes est appelé **eau morte**. Lorsque les plantes ont utilisé l'ensemble de l'eau disponible de la réserve en eau du sol et qu'elles commencent à flétrir, ont dit que le **point de flétrissement permanent** est atteint. C'est une valeur caractéristique à chaque sol. L'eau, qui dans l'espace racinaire, est disponible pour une culture est mesurée, comme pour les précipitations, en mm ou litres/m^2.



Volumes d'eau, air et substances dans le sol (d'après Müller et al.)

Les besoins en eau des plantes

Les besoins en eau des plantes dépendent …

- **Du type de plantes et de leur taille:** Les grandes plantes avec une croissance importante, particulièrement celles des régions humides, prélèvent plus d'eau du substrat que des petites plantes ou des plantes venant de régions sèches.
- **De la température et de la lumière:** plus la température est élevée, avec en même temps une forte luminosité et plus le besoin en eau des plante sera élevé, ce qui entrainera une plus forte aspiration de l'eau par les plantes. Une partie de l'eau est évaporée par les feuilles et le substrat. Si la plante est trop stressée, il lui est possible de fermer les stomates pour freiner l'évaporation et ainsi se protéger.
- **De l'humidité de l'air et du vent:** par analogie, le même raisonnement s'applique à l'humidité de l'air et aux vents.

Les besoins quotidiens des plantes en pot dépendent de différents facteurs:

Période/Moment	Culture	Période	Besoins en eau (l/m² par jour)
Besoin maximal	Toutes les plantes en pot non ombrées	Mai/Juin	5
Besoin minimal	Pieds-mères de cyclamen (porte-graines)	Novembre	0,35
Besoin moyen en hiver, natte non recouverte: Pot - goutteur:	Chrysanthèmes en pot	Décembre - Mars	 1,13 0,76
A la mi-journée			Besoins en eau (l/m² par heure)
	Chrysanthèmes en pot	Février	0,36
		Août	1,33
	Bégonias élatior	Août	1,25
	Poinsettias	Août	1,25
	Kalanchoës	Août	1,05
	Ficus benjamina	Août	1,05

D'après: Everts, Düngerlexikon für Gartenbau

Conseils pratiques pour l'arrosage de cultures en pleine terre

- Arroser avant le point de flétrissement (si la culture flétrit déjà le matin, le moment idéal d'arrosage a été manqué).
- Au printemps, ne pas débuter l'arrosage trop tôt. Lorsque l'on débute trop tôt l'arrosage, les plantes annuelles ne développent des racines que dans la partie supérieure du sol. Ainsi, durant les périodes sèches, elles ne sont pas capables d'utiliser l'humidité du sol des couches plus profondes.
- Choisir si possible des intervalles longs entre les apports d'eau et apporter une quantité maximale d'eau correspondant au type de sol (les petites quantités d'eau à faible intervalle provoquent de grandes pertes par évaporation).
- Arrosage de surface, si possible en l'absence d'ensoleillement direct (temps nuageux, soir ou nuit) et par temps calme.
- Un système goutte à goutte en remplacement de l'arrosage de surface permet d'économiser beaucoup d'eau.

Besoins en eau de quelques cultures de légumes sous serre

Culture	l/m² par jour	l/m² par mois
Tomates	1,5 – 3,5	45 – 105
Concombres	1,2 – 3,7	35 – 111
Haricots	0,8 – 3,9	24 – 105
Poivrons	2,0 – 3,9	60 – 117
Salades	0,5 – 2,5	15 – 75

(D'après: Everts: Düngerlexikon für den Gartenbau)

Besoins en eau (m³/ha/par année). Valeurs indicatives pour quelques cultures de pleine terre

Culture	Sol léger	Sol moyen	Sol lourd
Pépinière	5000	4500	4000
Légumes de pleine terre	2000	1500	1200
Légumes de pleine terre (culture intensive)	6000	6000	6000
Cultures fruitières et viticoles	4000	3500	3000

(D'après: Röber & Schaller: Pflanzenernährung im Gartenbau)

Cultures de pleine terre: Besoins approximatifs en eau durant toute la durée de la culture

Faible (200 l/m²)	Moyen (200 – 400 l/m²)	Elevé (400 – 600 l/m²)	Très élevé (plus de 600 l/m²)
Endives	Choux-fleurs	Persil	Carottes
Salades pommées	Haricots nains	Céleris	Choux-rouges d'hiver
Epinard	Cornichons de conserve	Choux-blancs d'été	Choux de Bruxelles
Raifort	Choux-raves	Choux frisé	
Radis	Petit-pois	Oignons	
Poireaux	Fèves		

(Source: d'après Hartmann et al. 2000)

Critères de qualité

La consommation considérable d'eau met clairement en lumière que la qualité de l'eau d'arrosage revêt une grande importance. De grandes quantités de sels dissous dans l'eau d'arrosage conduisent rapidement à de fortes concentrations de sels dans l'environnement racinaire, particulièrement pour les cultures ayant un volume de racines restreint (cultures en pot, en conteneur ou systèmes fermés). De même dans les cultures plus longues, sous serres, la qualité de l'eau d'irrigation a une grande importance. La principale cause d'une salinisation est la dureté de l'eau (alcalinité, causée par les carbonates de calcium et de magnésium).

La dureté de l'eau

La dureté de l'eau est créée par le passage de l'eau à travers les couches calcaires du sol. Raison pour laquelle elle dépend fortement de la géologie du sous-sol, des éléments et des quantités pouvant être dissoutes. Il en découle la répartition géographique des duretés de l'eau.

La dureté de l'eau est exprimée en degrés français (°fH) ou en degrés allemands (°dH):

La dureté de l'eau est la somme de tous les complexes calcium et magnésium (à côté des carbonates, mais aussi des sulfates, nitrates, etc.) solubles à l'eau.

La partie prédominante de la dureté de l'eau provient principalement des carbonates de calcium dissous ($CaCO_3$), respectivement Dolomit (mélange de carbonates de Ca-Mg) par l'acide carbonique lors de la formation d'hydrogénocarbonate (HCO_3^-) solubles.

La dureté de l'eau est déterminante pour l'appréciation de la qualité de l'eau.
L'hydrogénocarbonate provoque sur l'espace racinaire et le système d'arrosage les conséquences négatives suivantes:

- Fixe les ions d'hydrogène libres, ce qui entraîne une augmentation du pH.
- Dépôts de calcaire dans le système d'arrosage (tuyaux et goutteurs).

L'eau de pluie ne présente pas de dureté carbonatée et est par conséquent idéale pour l'arrosage.

Degré de dureté	Correspond		Dérivé de	
		mg Ca/litre	mg $CaCO_3$/l	mg CaO/l
1 degré de dureté français °fH	0,56 °dH	4	10	
1 degré de dureté allemand °dH	1,78 °fH	7,14		10

Valeur de pH

La valeur de pH n'est pas appropriée pour apprécier la qualité de l'eau d'arrosage. Une valeur supérieure à 7 ne signifie pas que l'eau est dure. Souvent, l'eau douce présente un pH relativement élevé (influence basique de ciments ou roches par un pouvoir tampon déficient).

Teneur en sels

La teneur en sels donne des informations sur la concentration en ions de l'eau d'arrosage. On mesure la conductivité. La conductivité fournit des informations sur le sel total, mais pas sur la composition en ions.

Puisque en Europe centrale l'eau potable, à l'exception des hydrogénocarbonates ne contient la plupart du temps que très peu d'autres sels, la relation entre la dureté et la conductivité est très étroite. Si la dureté de l'eau est connue et la conductivité est clairement plus haute que présupposée, d'autres sels sont présents à côtés des ions responsables de la dureté. Dans ce cas, une analyse de l'eau doit être effectuée.

Conductivité [1]	Teneur en sels [2]	Dureté de l'eau	°fH	°dH
<270	< 140	douce	< 10	< 6
270–620	140–350	moyenne	10–30	6–17
>620	> 350	dure	> 30	> 17

1) uS/cm, 25°C
2) d'après VDLUFA comme KCl (une EC de 1mS/cm à 25°C correspond à env. 0.53g/KCl/l de solution).

Exigences en eau d'arrosage lors du recyclage de la solution nutritive

Caractéristique	Unité	Cultures et systèmes hors-sol sensibles	Cultures sur substrat
Dureté	°fH	< 10	< 20
	°dH	< 5	< 10
Conductivité	uS/cm, 25°C	< 270	< 450
	uS/cm, 18°C	< 230	< 390
Sodium (Na)	mg/l	< 20	< 20
Chlore (Cl)	mg/l	< 35	< 35
Bore (B)	mg/l	< 0,2	< 0,4
Zinc (Zn)	mg/l	< 0,3	< 0,5

Amélioration de la qualité de l'eau

En cas de qualité insuffisante de l'eau du réseau ou de l'eau provenant de la nappe phréatique, la qualité peut être améliorée par un mélange avec de l'eau de pluie. Lors de l'arrosage avec de l'eau de pluie, l'approvisionnement en calcium doit être considéré de manière particulière. Car les plantes ont besoin de calcium bien qu'elles réagissent de manière négative à l'eau calcaire.

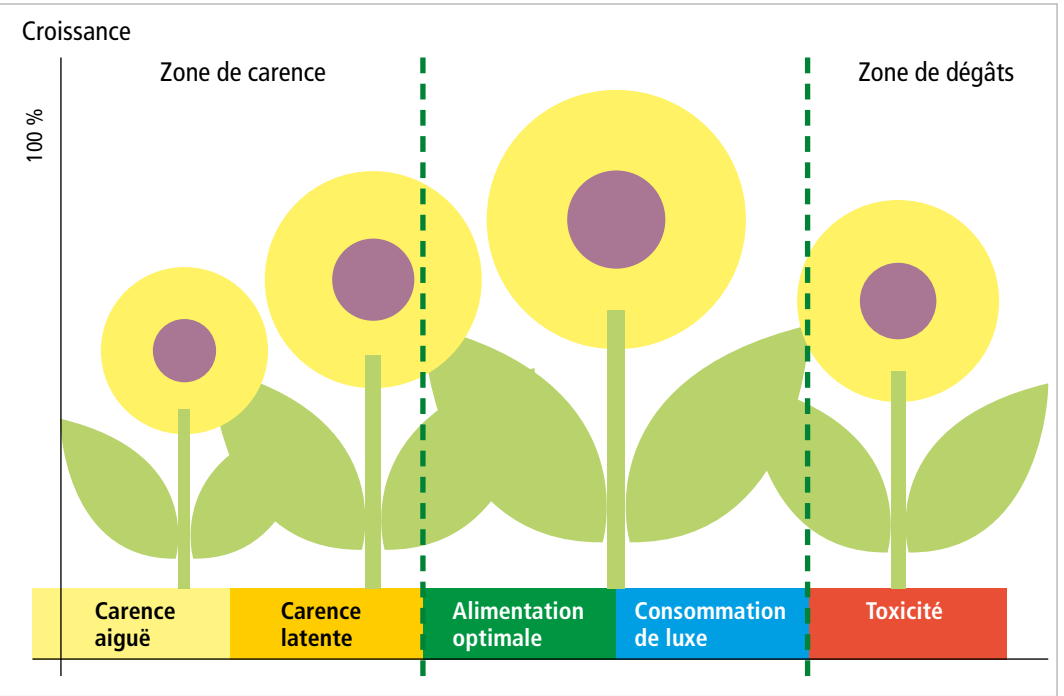
De fortes concentrations de zinc peuvent se rencontrer dans l'eau du réseau et dans l'eau de pluie. Ceci résulte du contact de l'eau avec des tuyaux et conduites en zinc car l'eau de pluie ruisselle sur les bords de chassis, des structures des serres, les chenaux et les tuyaux (zingués ou en laiton).

Les moyens d'adoucissement de l'eau sont décrits au chapitre 12.

Les quantités optimales d'engrais

Une quantité trop faible aussi bien qu'une quantité trop importante d'une substance nutritive affaiblit, respectivement endommage une plante. Selon l'élément, la plage optimale peut être large (par ex. pour l'azote) ou très étroite (par ex. pour le bore). Pour le bore par exemple, cela signifie qu'une teneur déjà légèrement inférieure à l'optimum provoque une carence et qu'une teneur supérieure à l'optimum conduit rapidement à des dégâts (toxicité).

Relation entre le contenu en substances nutritives de la plante et la croissance, respectivement le rendement



Carence aiguë	Carence latente	Alimentation optimale	Consommation de luxe	Toxicité (excédent gênant)
Symptômes de carence visibles, mauvais rendement et faible qualité **Mesures**: Plusieurs fumures foliaires; fertilisation supplémentaire du sol pour autant qu'il n'y ait pas de fixation (voir sous „Carence en substance nutritive et état du sol")	Pas d'apparition de carence, rendement amoindri, qualité en partie mauvaise. **Mesures, si des carences d'années précédentes sont connues:** Fertilisation du sol. En cas de fixation des éléments nutritifs (voir sous Carence en substance nutritive et état du sol) : réaliser une fumure foliaire dès que la masse foliaire est suffisante.	La meilleure croissance et la meilleure qualité	Bonne croissance, qualité parfois mauvaise. **Mesures:** Renoncer temporairement à l'application de substances nutritives. Fertiliser éventuellement avec les éléments victimes d'antagonisme (par ex. lors d'une consommation en excès de potasse, du magnésium doit être apporté (voir aussi page 13).	Mauvaise croissance et qualité faible. **Mesures lors d'une trop forte solubilité en raison d'un pH trop bas:** apporter de la chaux (par ex. lors d'une toxicité du manganèse).

Symptômes de carences spécifiques aux cultures

Culture	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B	Mo
Pommes	++			+	+	++	+	++	
Choux fleurs	++	+	+			+	+	++	++
Haricots	++	+	+	++	+	++			+
Brocolis	+		+				+	+	++
Pois	+	+	+				++		+
Fraises	+	+			+	++	+		
Concombres	+					++	+		
Framboises	+					++			
Choux	++	+	++			+	+	+	+
Carottes	++	+					++	+	+
Raifort						++	+	+	
Roses	+	+			+			++	
Salades							++	+	++
Céleri	+						+	++	
Epinards		+				++	++	+	++
Tomates	++	+		+	++	+	+	+	+
Oignons			+	++			++		++

+ = sensible ++ = très sensible

d'après: G. Everts: Düngerlexikon für den Gartenbau

Les causes des carences nutritives

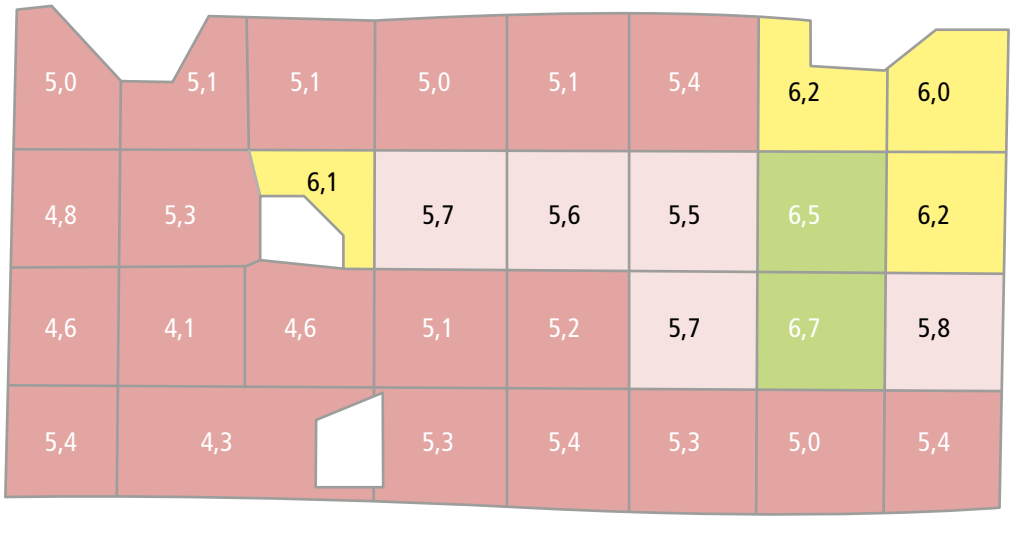
Dans un sol avec un approvisionnement insuffisant en éléments nutritifs, il faut s'attendre à l'apparition de symptômes de carences (particulièrement les symptômes latents, non visibles). La carence aiguë, évidente est cependant souvent attribuée à d'autres causes:

Valeur de pH extrême

La carence nutritive est fréquemment attribuée à un pH extrême. Les pH normaux indiqués dans les résultats d'analyse de sol ne sont pas toujours très significatifs, car ce résultat est une valeur moyenne de l'ensemble de la parcelle. Sur une même parcelle, le pH peut varier de une à plusieurs unités.

Si les symptômes de carence se rencontrent dans la parcelle par taches, cela signifie qu'à ces endroits le pH à une valeur extrême. **Deux ou plusieurs mesures de pH séparées (places avec et sans carence) apportent plus de clarté!**

Variation de pH possible sur un hectare de sol



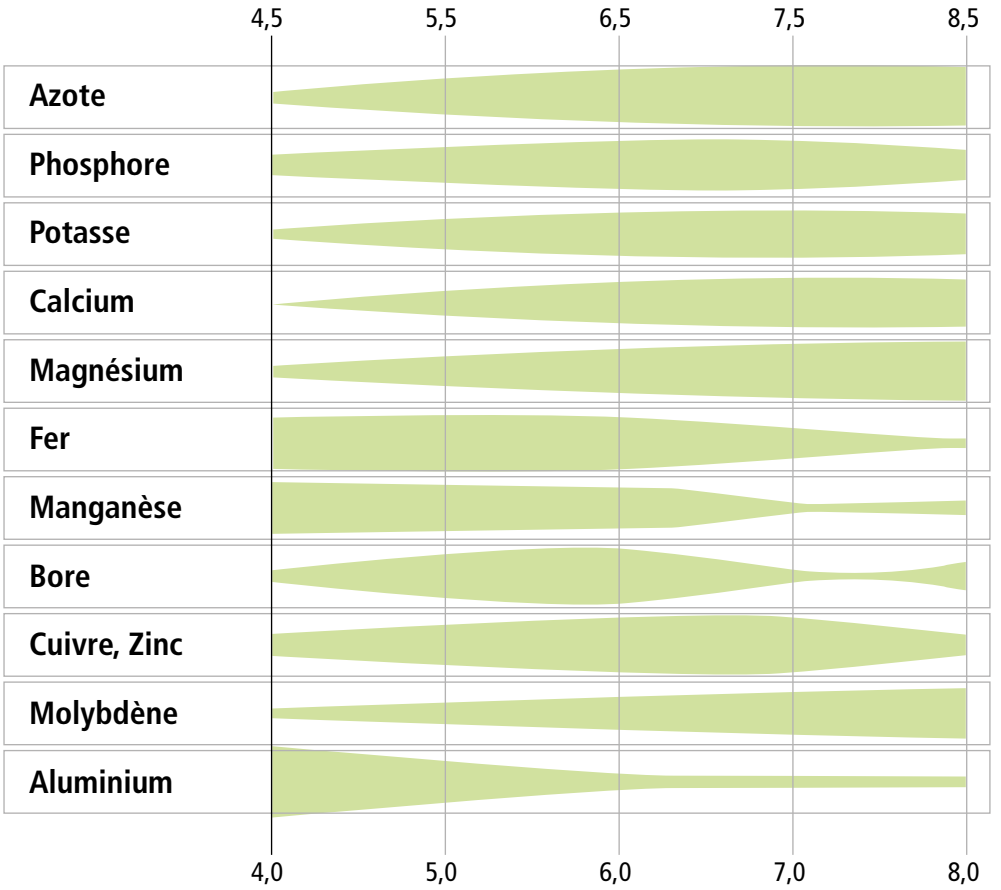
Valeurs de pH mesurées

6,3 – 6,7
5,9 – 6,2
5,5 – 5,8
3,8 – 5,4

pH de l'échantillon du sol mélangé: 5.4

Lors de l'irrigation, la dureté de l'eau est aussi un facteur qui influence la valeur du pH du sol ou du substrat. Avant tout sous serre, la connaissance de la dureté de l'eau est une condition importante pour harmoniser de manière préventive le substrat, la qualité de l'eau et la fumure au besoin de pH de la culture (voir chapitres 5 et 12).

Disponibilité des éléments nutritifs en fonction du pH du sol
(dans l'eau, méthode suisse)



Valeur pH du sol (dans le $CaCl_2$, méthode allemande)

Plus la barre verte est épaisse, plus la disponibilité des éléments nutritifs est meilleure.

Les influences suivantes sont valables généralement pour un sol de pleine terre, et sont moins marquées pour des substrats de pots et de conteneurs.

Tassement de sol

Des symptômes de carences nutritives peuvent se rencontrer dans les sols fortement tassés, bien qu'il soit suffisamment approvisionné ou dispose d'assez de réserves. Dans un sol compacté, les racines se développent mal et l'approvisionnement en eau et en air est perturbé. Les corrections nutritives ne peuvent se faire qu'a l'aide d'une fumure foliaire.

Les tassements de sol peuvent avoir d'autres causes que les passages de machines lourdes avec des pneus étroits sur sol mouillé. Lors de la création de surfaces engazonnées, le responsable du chantier doit être conscient qu'à chaque étape, de la mise en place des différentes couches, les passages sur le terrain ne peuvent se faire que sur un sol suffisamment sec. Les défauts qui apparaissent en raison de compactage lors de la réalisation ne peuvent presque pas être corrigés plus tard (par ex. par défonçage). La croissance imparfaite du gazon qui en résulte ne peut pas non plus être corrigée par une augmentation de la fumure. Les problèmes de tassement sont mis en évidence par des examens physiques du sol ou simplement en contrôlant la structure sur place à l'aide d'une bêche.

Saturation en eau et sécheresse

Les ions des substances nutritives peuvent se trouver dans le sol sous différentes valences. Les racines des plantes ne peuvent en principe prélever qu'une forme. Dans un sol sec, les ions peuvent être oxydés ou dans un sol très humide être réduits. Les deux processus rendent certains éléments non assimilables par les plantes.

Influence des facteurs du sol sur la disponibilité des éléments nutritifs

Facteurs dans le sol	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
pH le plus haut	0	+	-	-	-	-	+	-
pH le plus bas	-	-	+	+	+	+	+	0
Haute teneur en P	0	0	0	-	-	-	0	-
Matières organiques; acides humiques, acides fulviques	0	0	+	+	+	-	-	-

0 = effet faible + = effet positif - = effet négatif

(d'après: Everts 1998, angepasst)

Symptômes de carences

Dans la pratique, les symptômes de carence ne sont souvent pas attribués exactement à un seul élément nutritif car les symptômes de manque de différents éléments peuvent être similaires.

Le symptôme de carence est fréquemment la conséquence de conditions de sol difficiles dans la zone racinaire. Ainsi, le prélèvement parallèle de plusieurs éléments nutritifs est souvent freiné. Il est également possible qu'une réaction physiologique de la plante empêche l'efficacité ou le transport d'un élément (pH du suc cellulaire, transpiration déficiente, stress). Vous trouverez dans les annexes des pages 90/91, une clé de détermination permettant de reconnaître les symptômes de carence.

Azote (N)

Sols de carence:
- Sols sabloneux, pauvres en humus

Mesures:
- Nouvelles places de sport, construites d'après la norme DIN: augmenter la fumure azotée les 2-3 premières années.
- Fumure azotée sur le sol. En cas de forte carence ou lorsqu'une longue période sans précipitations est annoncée, fumure foliaire supplémentaire avec des produits azotés.
- Drainage des sols détrempés.
- Améliorer la structure du sol.
- Lors d'apport de matière organique dont le niveau de décomposition n'est pas suffisant, la fumure azotée doit être augmentée.
- Le lessivage de l'azote en hiver doit être réduit à l'aide d'un engrais vert.

Symptômes en cas d'excès:
- Feuilles vert foncée avec une sensibilité plus grande à la sécheresse, aux attaques de maladies et insectes.
- Maturité retardée.

© Hauert
Poinsettia

© Dorothea Baumjohann
Datura

© Hauert
Chou
(seules quelques familles de plantes réagissent à un manque d'azote par une coloration rouge des feuilles)

© Hauert
Hortensia

© Dorothea Baumjohann
Pélargonium

Phosphore (P)

Sols de carence:
- Valeurs de pH extrêmes (en-dessous de 5 ou en-dessus de 7.5),
- Sols mal structurés, sols compactés.

Mesures:
- Dans les sols neutres à alcalins, n'utiliser que des engrais contenant du phosphore soluble à l'eau.
- Chauler les sols acides.

Symptômes en cas d'excès:
- Carences en fer et zinc.

© Hauert
Collet vert de la tomate

© Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT), Freising (D)
Gerbera

© Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT), Freising (D)
Poinsettia

Potasse (K)

Sols de carence:
- Sols riches en argile (fixation),
- Sols sablonneux ou sans tourbe (lessivage),
- Sols insuffisamment fertilisés.

Mesures:
- Fumure avec des engrais riches en potasse, bien que les quantités pour des sols argileux ou limoneux soient importantes.
- En cas de forte carence ou lorsqu'une longue période sans précipitations est annoncée, fumure foliaire supplémentaire avec des produits riches en potasse.

Symptômes en cas d'excès:
- Carences en magnésium et éventuellement calcium.

© Dorothea Baumjohann
Cul noir de la tomate

© Dorothea Baumjohann
Pommes liégeuses

© Hauert
Brunissement des bords de feuilles chez les espèces de laitues

Calcium (Ca)

Sols de carence:
- Très acides, sols légers, pauvres en calcaire, qui sont très exposés au lessivage.

Mesures:
- Fertilisation foliaire préventive avec du calcium dans les cultures et les emplacements où apparaissent régulièrement des carences (taches liégeuses sur pomme, cul noir de la tomate).
- Chaulage avec du calcium granulé ou en poudre, dolomie ou chaux d'Aarberg ou de carrière.
- Utilisation régulière d'engrais calcaires.
- Pour la production de plantes ornementales: diminuer l'humidité de l'air, températures pas trop hautes, alimentation riche en bore.

Symptômes en cas d'excès:
- Carences en magnésium et potassium.

Magnésium (Mg)

Sols de carence:
Sols légers, acides ou pauvres en calcaire.

Mesures:
- Fertilisation avec du magnésium, avec du sulfate de magnésium granulé. En cas de forte carence ou lorsqu'une longue période sans précipitations est annoncée, fumure foliaire supplémentaire avec des produits à haute teneur en magnésium.
- Utilisation régulière d'engrais contenant du magnésium (par ex. des apports de potassium, sous forme de potasse magnésienne (Patentkali)).
- Engrais magnésiens avec dolomie (uniquement lorsque la valeur de pH est inférieure à 6,5).

Symptômes en cas d'excès:
- Très rares; éventuellement réduction de la croissance due à un déséquilibre entre le calcium et le potassium.

© Hauert
Poinsettia

© Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT), Freising (D)
Chrysanthème

© Hauert
Pomme de terre

Soufre (S)

Sols de carence:
- Lieux humides; sols pauvres en humus, légers.

Mesures:
- Utilisation d'engrais riches en soufre (engrais complets avec soufre, sulfate d'ammonium, sulfate de potassium, sulfate de magnésium).

Symptômes en cas d'excès:
- Chute précoce des feuilles.

© Hauert
Haricot nain

Bore (B)

Sols de carence:
- Sols très acides (pH inférieur à 5,5) ou sols alcalins,
- Sols riches en humus ou sablonneux.

Mesures:
- Fumure foliaire,
- Apporter de l'engrais riche en bore (dans les sols légèrement acides),
- Correction du pH (dans les sols très acides).

Symptômes en cas d'excès:
- Les extrémités des feuilles se colorent en jaune, deviennent ensuite nécrosées et tombent.

© Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT), Freising (D)
Rose

© Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT), Freising (D)
Gerbera

© Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT), Freising (D)
Poire pierreuse

© Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT), Freising (D)
Gerbera

© Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT), Freising (D)

Pelargonium

© Dorothea Baumjohann

Surfinia

© Hauert

Rhododendron

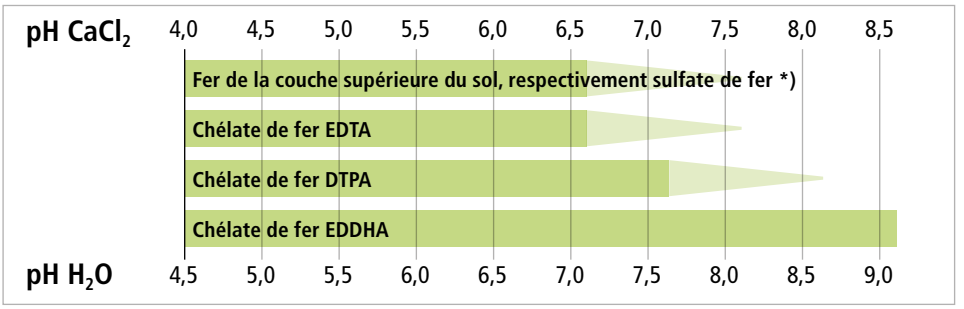
Fer (Fe)

Sols de carence:
- Sols alcalins, riches en calcaire avec peu de matière organique, mauvaise structure de sol et excès d'eau,
- La carence en fer est renforcée par un fort apport en phosphore et le chaulage.

Mesures:
- Fumure foliaire avec du chélate de fer pour une action rapide,
- Favoriser une bonne aération du sol,
- Ne pas apporter trop de matière organique,
- Empêcher un excédent de P,
- Fertilisation du sol et du substrat avec du chélate de fer.

Symptômes en cas d'excès:
- Les feuilles deviennent brunâtres avec de petites taches brunes.

Disponibilité des engrais contenant uniquement du fer en fonction du pH du sol ou de la solution nutritive



*) En plus du pH, d'autres facteurs dépendant du sol peuvent conduire à un blocage.

© Hauert

Tournesol

© Hauert

Poinsettia

Manganèse (Mn)

Sols de carence:
- Sols alcalins (sols humifères chaulés),
- Sols où la nappe phréatique est proche de la surface,
- Sols légers et secs,
- Sables humifères.

Mesures:
Fumure foliaire
- Utilisation d'un engrais à effet physiologique acidifiant,
- Sable humifère:
  fumure avec un sulfate de manganèse sur le sol (env. 20 kg/ha avec un pH < 6.5),
- Chélate de manganèse EDTA, efficace pour les sols avec un pH de 4 – 8.5.

Symptômes en cas d'excès:
- Les vieilles feuilles présentent des taches de bord brunes, jaunes.

Carences en cuivre (Cu) et zinc (Zn)

Dans la pratique, les carences de ces deux microéléments sont très rares.

Le diagnostic d'une carence en cuivre se révèle souvent être une carence en calcium et une carence supposée en zinc est la plupart du temps une carence en fer ou magnésium.

Maïs

ATTENTION: toutes les colorations ou nécroses de feuilles ne sont pas à attribuer à des carences nutritives.

Coloration des nervures: Viroses.

Nécroses: herbicides de contact, maladies fongiques, mineuses ou mouches mineuses, coups de soleil.

Coloration vert terne, brunâtre des feuilles: attaque d'acariens (visibles à la loupe sous les feuilles).

Eclaircissement des feuilles: herbicide de sol.

Blocage de croissance: viroses, nématodes, hormones (substances de croissance, herbicides ou régulateurs de croissance).

Feuilles brunes ou parties de celles-ci, tiges: infections fongiques.

Fertilisation foliaire

Seules de petites quantités de substances nutritives peuvent être absorbées par la feuille. C'est pourquoi, plusieurs fertilisations sont nécessaires pour une fumure principale. Mais l'absorption des éléments nutritifs se fait plus rapidement que par le sol. La fertilisation foliaire a de l'importance dans les conditions suivantes:

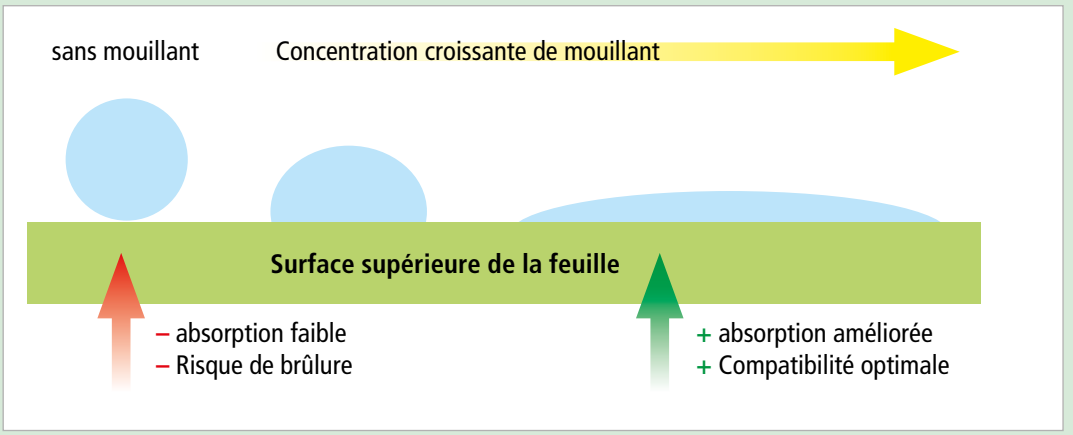
- Carence aiguë inattendue.
- Le prélèvement des substances nutritives par le sol n'est pas possible (pas de pluie/arrosage, pH défavorable, sol compacté, respectivement mauvais système racinaire ou endommagé).

La fumure foliaire peut brûler les feuilles et causer ainsi des nécroses.
Mesures préventives:

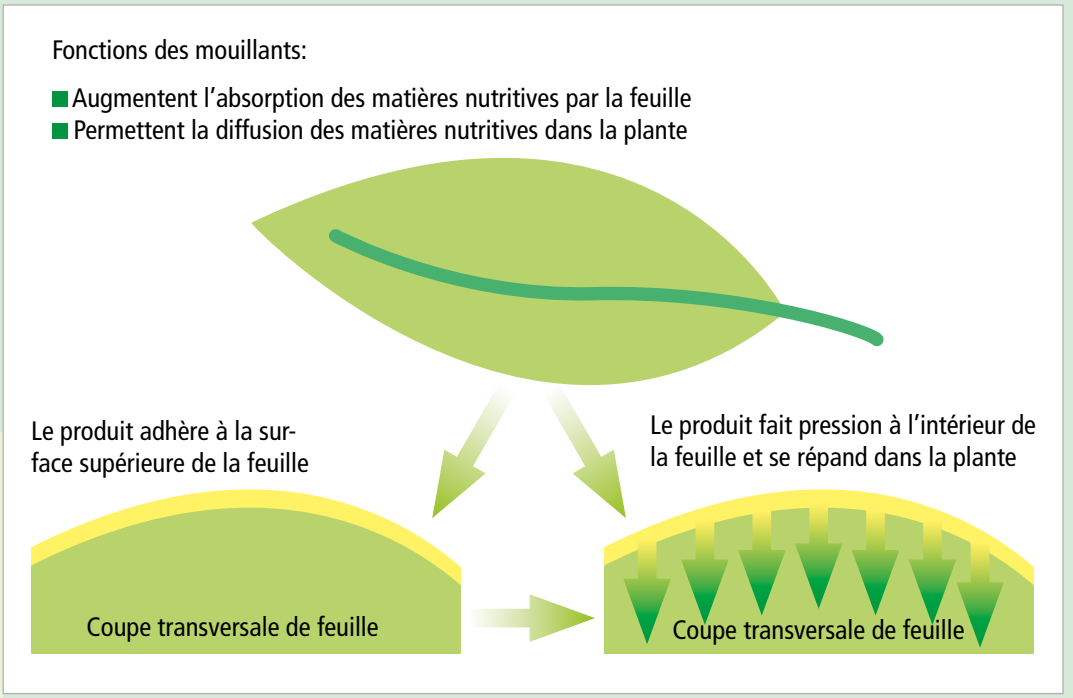
- Pas d'application foliaire après une longue période de pluie, resp. après une période à faible luminosité (couche de cire sur l'épiderme affaiblie).
- Ne pas dépasser les concentrations maximales conseillées par rapport aux cultures.
- Utiliser sur feuilles sèches et pas en plein soleil (de préférence vers le soir).
- Réduire la concentration en phases de forte croissance (la couche de cire sur l'épiderme n'est pas encore formée).
- Pour les sels (sulfates de magnésium, manganèse, etc.) ajouter un mouillant.

Rapidité d'absorption des substances nutritives par la feuille	
Très rapide (50% en 2-4 heures)	Azote (Urée)
Rapide (50% en 1-2 jours)	Manganèse, Zinc
Lente (50% en 2-4 jours)	Phosphore, Potasse, Calcium
Très lente (50% en 1-2 semaines)	Soufre, Fer

L'action des mouillants sur la bouillie de traitement:



Divers engrais foliaires contenant des mouillants sont disponibles dans le commerce:



Principe:
Plus la solution foliaire sèche lentement sur la feuille, meilleur sera le taux d'absorption.

Utilisation d'engrais foliaires spécifiques en cas de carences

Engrais	Teneur en élément (%)	Culture							Dosage (Produit)		Remarques
		Plantes ornementales	Pépinière/Container	Horticulture	Cultures maraîchères	Arboriculture – Viticulture	Pommes de terre	Céréales	g/a	kg/ha	
Urée	46 % N							x	300–600	30–60	Lors de blocage de croissance
							x		100–300	10–30	Lors de blocage de croissance
			x	x	x	x			20–40	2–4	Lors de blocage de croissance
Sulfate de magnésium	9,8 % Mg				x	x	x	x	100	10	Fruits: 8 sem. après la fleur; Vigne: après la nouaison
			x	x					50	5	Pépinière, Horticulture
Nitrate de calcium	15,5 % N 19 % Ca				x	x			20–50	2–5	Tomates: contre la pourriture sèche. Salades: contre les bordages; Culture de pommes: contre les taches liègeuses. 2-6 traitements, 1000 l eau/ha
Sulfate de manganèse [1]	32 % Mn							x	100	10	
					x				20–50	2–5	Utiliser le plus tôt possible.
		x	x	x					2–4	0,2–0,4	
						x			5–10	0,5–1,0	
Chélate de manganèse	13 % Mn						x	x	10–20	1–2	
		x	x	x					0,4–2	0,04–0,2	
					x	x			5–10	0,5–1	
Sulfate de cuivre	25 % Cu		x	x				x	5–10	0,5–1	
						x			1–4	0,1–0,4	
Plantaktiv Cu	14 % Cu				x	x		x	5–10	0,5–1,0	
		x	x	x					0,8–2	0,08–0,2	
Solubor [1]	17,5 % B								50–80	5–8	Betteraves sucrières: 2 traitements dès le stade 6 feuilles
		x	x	x					4–8	0,4–0,8	
					x	x			10–20	1–2	Arbres fruitiers, stade avant fleurs (très sensible au stade F2); max. 0,1 %)
Sulfate de fer	19 % Fe	x	x	x					4–8	0,4–0,8	
						x			10–20	1–2	
Chélate de fer EDTA	13 % Fe	x	x	x					0,8–2	0,08–0,2	
						x			4–8	0,4–0,8	
Sulfate de zinc	36 % Zn				x				5	0,5	
		x	x	x					2–3	0,2–0,3	
						x			5–10	0,5–1,0	
Chélate de zinc	14 % Zn	x	x	x					0,4–2	0,04–0,2	
					x	x			1–4	0,1–0,4	
Molybdate de sodium	40 % Mo	x	x	x					0,4–0,8	0,04–0,08	
									4	0,4	
					x	x			2	0,2	

1) Ne pas mélanger Solubor et Sulfate de manganèse, car le mélange flocule rapidement et bouche les filtres et buses. En cas de carences d'origine indeterminée: 2 x „Vegesan Mega" (2 x 4 l/ha).

Les engrais organiques du commerce

Ils se composent de sous-produits végétaux et animaux de l'industrie alimentaire ainsi que de fumier. L'utilisation des matières premières animales est régie par des règlements légaux précis relatifs à leur provenance et conditions sanitaires (maladie de la vache folle, grippe aviaire, grippe porcine, etc.).

Les principales matières premières végétales:
- Malt: germes d'orge ou de blé séchés,
- Farine de colza: tourteau issu de la fabrication d'huile de colza,
- Gluten de maïs: produit dérivé de la fabrication d'amidon de maïs,
- Vinasse: produit dérivé de la fabrication de sucre.

D'autres matières premières végétales, sont utilisés la plupart du temps comme amendements (améliorateurs du sol) en raison de leur faible teneur en éléments nutritifs:
- Tourteau de raisin,
- Farine de marc de café.

Les principales matières premières animales:
- Cornes et sabots de ruminants broyés,
- Farine de plumes: plumes de poulets et de dindes (poulets d'engraissement et dindes),
- Farine d'os: farine issue de la découpe de différentes espèces animales (qualité alimentaire),
- Farine de peaux et cuirs: farine de peaux et cuir, c'est-à-dire couennes de différentes espèces animales,
- Farine de sang.

Les matières premières organiques prises individuellement sont souvent mal adaptées comme engrais. C'est seulement après un mélange correct avec d'autres matières premières et un traitement optimal, que l'on fabrique des engrais efficaces de haute valeur.

Engrais minéraux du commerce

Sels minéraux:
Préparations plus ou moins solubles à l'eau de sels issus de gisements naturels comme le chlorure de potassium, le sulfate de potassium, le sulfate de magnésium, le phosphate naturel.

Sels minéraux transformés chimiquement:
Superphosphate, superphosphate triple, phosphate d'ammonium, phosphate de potassium.

Engrais de synthèses:
Nitrate d'ammonium, sulfate d'ammonium, nitrate de calcium, nitrate de potassium, cyanamide calcique, urée.

Caractéristiques spécifiques des engrais minéraux du commerce

Teneur en chlore:
Diverses plantes ornementales, de même que quelques plantes de cultures, par exemples, les solanacées (pommes de terre, tomates, tabac, aubergines, poivrons, etc.) sont très sensibles au chlore.

Sans chlore =
Engrais contenant moins que 0,1 % de chlore.

Pauvre en chlore =
Engrais contenant moins que 2 % de chlore.

En plus des dégâts directs du chlorure sur les plantes, le chlore est aussi une cause principale l'augmentation de la salinité du sol.

Sans calcaire:
L'engrais ne contient pas de matière active basique c'est-à-dire de carbonate. Un engrais exempt de calcaire peut toutefois contenir du calcium sous une forme non basique (par ex. comme nitrate de calcium ou phosphate de calcium). Les engrais exempts de calcaire sont utilisés dans les cultures qui nécessitent un sol acide.

Caractère salinisant des engrais:
Chimiquement parlant, la plupart des matières premières des engrais minéraux sont des sels. Les substances nutritives individuelles agissent de manière très diverses sur la salinisation de la solution du sol.

Poudres de roche préparées

Roches broyées et transformées à l'aide de procédés physiques: chaux granulée ou en poudre, dolomie (Ca, Mg), chaux d'algues marines, granit (divers oligo-éléments), pierre volcanique (divers oligo-éléments), etc.

Engrais organo-minéraux

Mélange d'engrais à base de matières premières organiques et minérales. **Attention**: Même un mélange d'engrais issus de matières premières organiques et de poudre de roche (naturelle) est organo-minéral.

Charge relative de la solution du sol par unité d'élément nutritif (Finck, 1979)

Index de salinité par unité d'élément (S_N)	Engrais
Très haut (5 – 6)	Nitrate de sodium (salpêtre du Chili, Nitrate de potassium (comme engrais azoté)
Haut (env. 3)	Nitrate d'ammonium, Sulfate d'ammonium
Moyen (2 – 2,5)	Solution azotée, Chlorure de potassium, Potasse magnésienne (Patenkali)
Bas (1 – 1,6)	Urée, Sulfate de potassium, Phosphate di ammoniacal (DAP=Di Ammon Phosphate) (comme engrais azoté)
Très bas (0,3 – 0,6)	Superphosphate, Phosphate mono ammoniacal et Phosphate di ammoniacal (comme engrais phosphatés)

L'index de salinité est une mesure relative pour l'élévation de la pression osmotique dans la solution du sol en comparaison à une salinité de référence.
Plus l'index de salinité d'un engrais est élevé, plus la salinité sera élevée, respectivement l'EC du sol par unité de substances nutritives apportées augmentera.

Influence de différents engrais sur la réaction du sol (valeur du pH):

Effet acidifiant (abaissement du pH)	Effet neutralisant ou alcalinisant (maintien ou élévation du pH)
Engrais ammoniacal	Engrais contenant des sulfates
Urée	Hyper phosphate
Engrais organique azoté	Nitrate
	Amendement calcaire (voir aussi page 86)

Les caractéristiques des différentes formes de substances nutritives et engrais

Elément	Forme de la substance nutritive	Caractéristiques	Conseil d'utilisation
Azote	Nitrate (Salpêtre)	Effet rapide. Risques élevés de lessivage	Adapter ponctuellement et en quantité exacte par rapport aux besoins à court terme de la culture.
	Ammonium	Agit légèrement plus lentement que les nitrates. Effet physiologique acidifiant.	Enfouir légèrement dans le sol durant les périodes faibles en précipitations. Utilisable comme engrais liquide pour abaisser le pH.
	Urée	En cas de températures du sol froides, effet moins rapide. Mais comme fumure foliaire l'urée agit vite! Risque plus important de volatilisation (transformation gazeuse) particulièrement en cas de températures élevés.	Enfouir légèrement en surface dans les sols neutres et alcalins, de même que durant des périodes de beau temps. **En culture sous serre, danger de dégagement d'ammoniaque et donc de brûlures lors de la fertilisation du sol.**
	Organique	Agit plus lentement que les formes minérales. La rapidité de l'effet dépend, à côté de la température et de l'humidité du sol, fortement de la recette (formulation des diverses matières premières organiques) et de la granulation. Les granulés fins ont une surface d'attaque plus importante que les granulés sous forme de pellets. Plus la surface d'attaque est grande, plus les microorganismes du sol minéralisent l'azote organique en nitrate rapidement. Effet physiologique acidifiant.	Cultures hivernantes: apporter la totalité de la quantité très tôt au printemps (dans les sols froids, c'est-à-dire avec un début de végétation retardé, l'azote organique n'est pas lessivé). Cultures courtes et cultures ayant des besoins élevé en début de culture: apporter la totalité de la quantité au semis/plantation. Cultures longues: répartition en 2 apports au maximum. Une fertilisation trop tardive conduit à une minéralisation de l'azote, lorsque la culture n'en a plus besoin (phase de maturation et après la récolte). Ceci entraine le lessivage des nitrates.
Phosphate	Soluble à l'eau (par ex. le Superphosphate)	Effet rapide dans tous les sols	Sols neutres et alcalins: apports réguliers. **Attention:** La disponibilité des phosphates solubles à l'eau pour les plantes diminue rapidement après l'application. **C'est pourquoi, en cas de carence, appliquer l'engrais peu avant le semis/plantation.** Sols acides: apports occasionnels dans les cultures à fort besoin en phosphate au stade jeune.
	Soluble à l'acide citrique (par ex. scories, scories potassiques, farine d'os) Phosphate naturel (par ex. Hyperphosphate)	Effet lent, effet légèrement calcaire; Pour effet de maintenir le pH dans les sols faiblement acides Effet très lent; est rendu disponible pour les plantes par les sécrétions racinaires et les microorganismes.	Apport lors d'une mauvaise alimentation en P du sol jusqu'à un pH de 6,2; dans des sols bien approvisionnés jusqu'à 7,5. Apport dans les sols avec des pH inférieurs à 6,5; en agriculture biologique et dans les substrats.

Elément	Forme de la substance nutritive	Caractéristiques	Directives d'utilisation
Potasse	Toutes les formes de potasse:	Soluble à l'eau; effet rapide; danger de lessivage dans les sols sableux et sans humus.	Apporter au printemps dans les sols très sableux et sans humus. Favorise les pertes de calcium.
	Chlorure de potassium (par ex. sels de potasse)	Contient du chlore	Se limiter à un apport de 300 kg K_2O/ha; ne pas appliquer dans les cultures sensibles au chlore.
	Sulfate de potasse (par ex. sulfate de potasse, potasse magnésienne (Patenkali)	Contient du soufre	Application dans les cultures sensibles au chlore et ayant un besoin élevé en soufre.
	Nitrate de potasse		Convient pour la fertilisation foliaire; Engrais spécial pour les cas particuliers (légumes, tabac).
Magnésium	Sulfate de magnésium (Kieserit ou sulfate de magnésium soluble)	Soluble à l'eau, effet rapide; risque de lessivage dans les sols légers, contient du soufre	Apport en cas de besoin aigu en magnésium (fumure foliaire avec du bittersalz, fumure de sol avec du Kieserit).
	Nitrate de magnésium	Soluble à l'eau, effet rapide. Contient de l'azote.	Convient bien pour la fumure foliaire et la fumure liquide.
	Carbonate de magnésium (contenu dans la dolomie en plus du carbonate de calcium)	Faiblement soluble; Effet lent et persistant; faible risque de lessivage. Permet d'élever le pH dans le sol.	Utilisation pour remédier à une faible carence dans les sols acides; fumure de maintien dans les sols neutres, faiblement acides et acides.
	Oxyde de magnésium	Effet temporisé et longue durée. Tend à élever le pH dans le sol.	Apport pour la fertilisation de maintien dans tous les types de sol.
Calcium	Carbonate de chaux (Carbonate de chaux en poudre ou granulé)	Effet basique (élève la valeur du pH du sol). La vitesse de l'effet dépend de la granulation (plus fine est la poudre, plus rapide est l'effet).	Pour chauler les sols acides. Effet secondaire: fertilisation en calcaire.
	Sulfate de calcium (Gypse)	Pas d'effet basique (n'élève pas le pH du sol). Dans le sol, le calcium et le soufre sont rapidement disponibles par les plantes.	Pour couvrir les besoins en calcium des cultures appréciant les sols acides (Agrumes, baies, rhododendrons, etc.)
	Nitrate de calcium	A un effet physiologique légèrement basique sur la solution nutritive; dans le sol le nitrate de calcium n'influence pas le pH. Bien soluble à l'eau (aussi utilisable comme engrais foliaire).	Pour les cultures préférant un pH bas, les nitrates et sulfates de calcium (gypse) sont utilisés pour garantir l'approvisionnement en calcium. Pour les fumures liquides avec de l'eau de pluie, le nitrate de calcium sert à apporter du calcium.
Soufre	Sulfate	Soluble. Effet rapide. Augmente le risque de lessivage. Contenance en soufre de quelques engrais minéraux: Sulfate d'ammonium: 24 % Sulfate de magnésium (Kieserit): 20 % Potasse magnésienne (Patentkali): 23 % Sulfate de potassium: 18 % Superphosphate: 12 % Engrais composé: selon les indications de l'emballage Sulfate de magnésium (Bittersalz; engrais foliaire): 13 % Sulfate de calcium: 18 %	
	Soufre élémentaire	Effet nutritionnel lent (minéralisation par les microorganismes du sol). Fort abaissement du pH du sol/substrats.	Adapter le moment et la quantité des apports aux besoins à court terme de la culture (apport comme pour l'engrais azoté minéral).

Engrais oligo-éléments

La plupart du temps, les oligo-éléments sont présents dans le sol en quantité suffisante et dans les substrats, la teneur en oligo-éléments se trouve à un niveau standard établi par le fournisseur de terreaux. Les apparitions de carences sont généralement dues à une mauvaise disponibilité dans le sol (valeur du pH, structure du sol, etc.), c'est pourquoi les corrections doivent se faire par une application sur le feuillage (voir „Fumure foliaire", page 41).

Pour certaines cultures spéciales, particulièrement les cultures en substrats, il est raisonnable d'utiliser des engrais complet contenant des oligo-éléments pour couvrir les besoins nutritionnels lors de la fertilisation complémentaire.

Le cas particulier du fer

La correction d'une carence en fer avec des chélates par une application par le sol, c'est-à-dire au niveau des racines, est habituelle. Il faut toutefois savoir que la disponibilité pour les plantes des différents chélates de fer dépend du pH du sol (voir „Carence en substance nutritive", page 40).

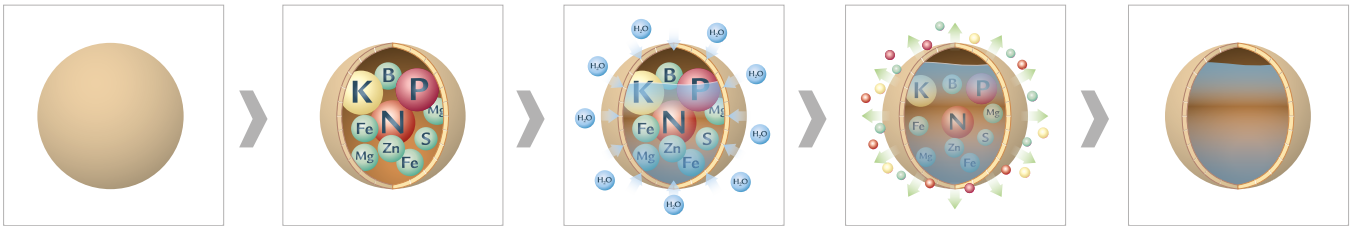
Les engrais longue durée

Définition des engrais longue durée:

Un engrais est nommé longue durée lorsqu'à une température du sol de 25°C, il rempli les critères suivants pour la libération des éléments nutritifs qu'il contient:

Laps de temps après la fertilisation	Libération des éléments nutritifs
24 heures	Minimum 15%
28 jours	Maximum 75%
Pour une durée d'efficacité spécifiée	Minimum 75%

Granulés d'engrais longue durée enrobées (par ex. la ligne „Mega" de Hauert)



Les granulés d'engrais sont enrobés d'une enveloppe de résine qui contrôle la libération des substances nutritives.

Chaque granulé contient exactement la même quantité de substances nutritives.

La vapeur d'eau pénètre dans le granulé et dissout les éléments fertilisants.

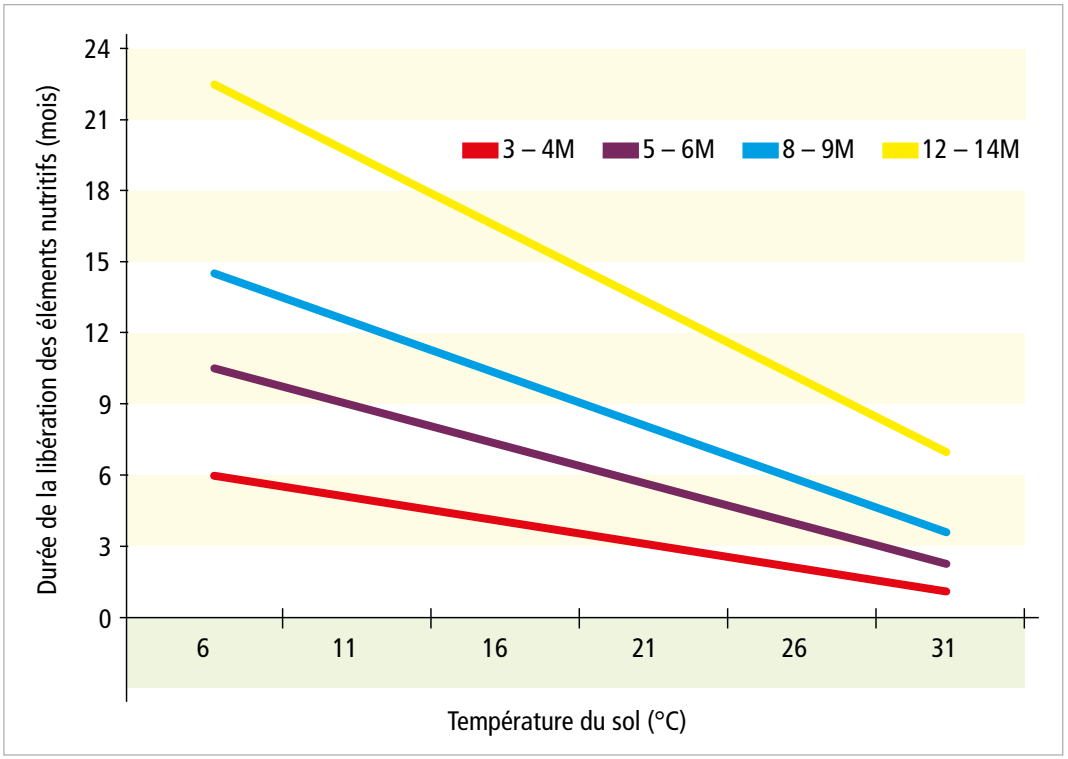
L'eau entrée dans le granulé provoque une surpression. Les éléments nutritifs sont envoyés dans la solution du sol.

L'enveloppe de résine vide constituée de matières premières végétales.

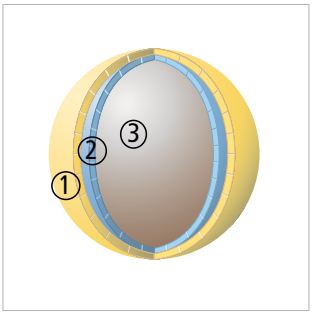
Libération des éléments nutritifs en fonction de la température du sol

Libération des engrais longue durée enrobés (par ex. la ligne „Mega" de Hauert)

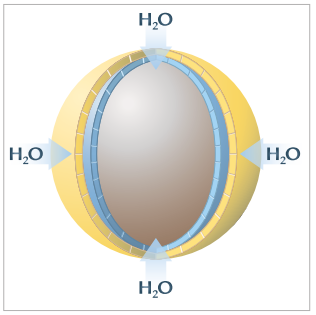
Influence de la température du sol



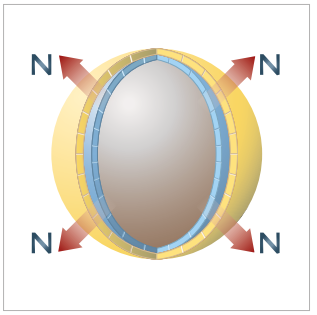
Urée enrobée de polymère



1 Enveloppe protectrice
2 Fine enveloppe de polymère flexible
3 Granulé d'urée de haute qualité



L'eau pénètre à travers l'enveloppe et dissous l'urée.



L'urée dissoute passe à travers l'enveloppe en direction de la solution du sol. Le taux de libération dépend de la température du sol.

Le mode d'action est comparable à celui des granulés enrobés d'une enveloppe à base de résine. Par contre, dans les substrats des plantes ornementales, l'urée ne convient pas comme source d'azote. Utilisation généralement sur les gazons, dans les pépinières de pleine terre et en cultures maraîchères.

Urée avec un enrobage de soufre

Le granulé d'urée est entouré d'une enveloppe de soufre puis d'une enveloppe de polymère. La lente dissolution de la matière de l'enveloppe permet la libération retardée de l'urée dans la solution du sol. Utilisation principalement comme engrais pour gazon.

Condensé uréiques

Les condensés uréiques sont le résultat de l'assemblage de l'urée avec d'autres composants organiques. Ils ne sont d'abord pas disponibles pour les végétaux, ce sont donc des engrais longue durée. Selon la température et l'humidité du sol, ils sont dissous dans la solution du sol avec un effet retard et par la suite, transformés par des procédés chimiques (hydrolyse) et biologiques (micro-organismes) en urée puis en azote disponible pour les plantes (ammonium et nitrate).

Les trois formes suivantes sont importantes:

Urée de méthylène (MU, NRf, Uréaforme)

C'est un mélange de différentes chaines de molécules. Selon leur origine les différentes formes d'urée de méthylène ont des degrés d'efficacités très variable d'une forme à une autre.

Une première appréciation qualitative courante se fait sur la base de la solubilité:

	Mélange d'urée de méthylène avec des fractions (chaînes) de longueur différente		
Fractions	Soluble dans l'eau froide (fraction 1)	Insoluble dans l'eau froide	
		Soluble dans l'eau chaude (fraction 2)	Insoluble dans l'eau chaude (fraction 3)
Caractéristiques	À 25°C soluble dans l'eau, chaîne courte, fractions ayant une efficacité rapide à légèrement retardée.	À 100°C, soluble, longueur de chaînes moyenne; fractions ayant un effet longue durée.	Insoluble dans l'eau chaude; fractions à effet très longue durée ou pas efficace.

L'exemple d'un engrais gazon:

5% N sous forme d'ureé de méthylène (total), dont:

1,7% N d'urée de méthylène soluble dans l'eau froide,
2,0% N d'urée de méthylène soluble uniquement dans l'eau chaude,
1,3% N d'urée de méthylène non soluble dans l'eau chaude (cette valeur n'est pas déclarée).

Selon la législation suisse, seul le total de l'azote sous forme d'urée de méthylène est déclaré. Une appréciation qualitative formelle ne peut être donnée que par des essais pratiques en plein champ. Dans chaque zone climatique, des essais séparés doivent être effectués. L'urée de méthylène est généralement utilisée pour fertiliser les gazons et pépinières. Grâce à son effet longue durée, ce produit est très compatible avec les végétaux.

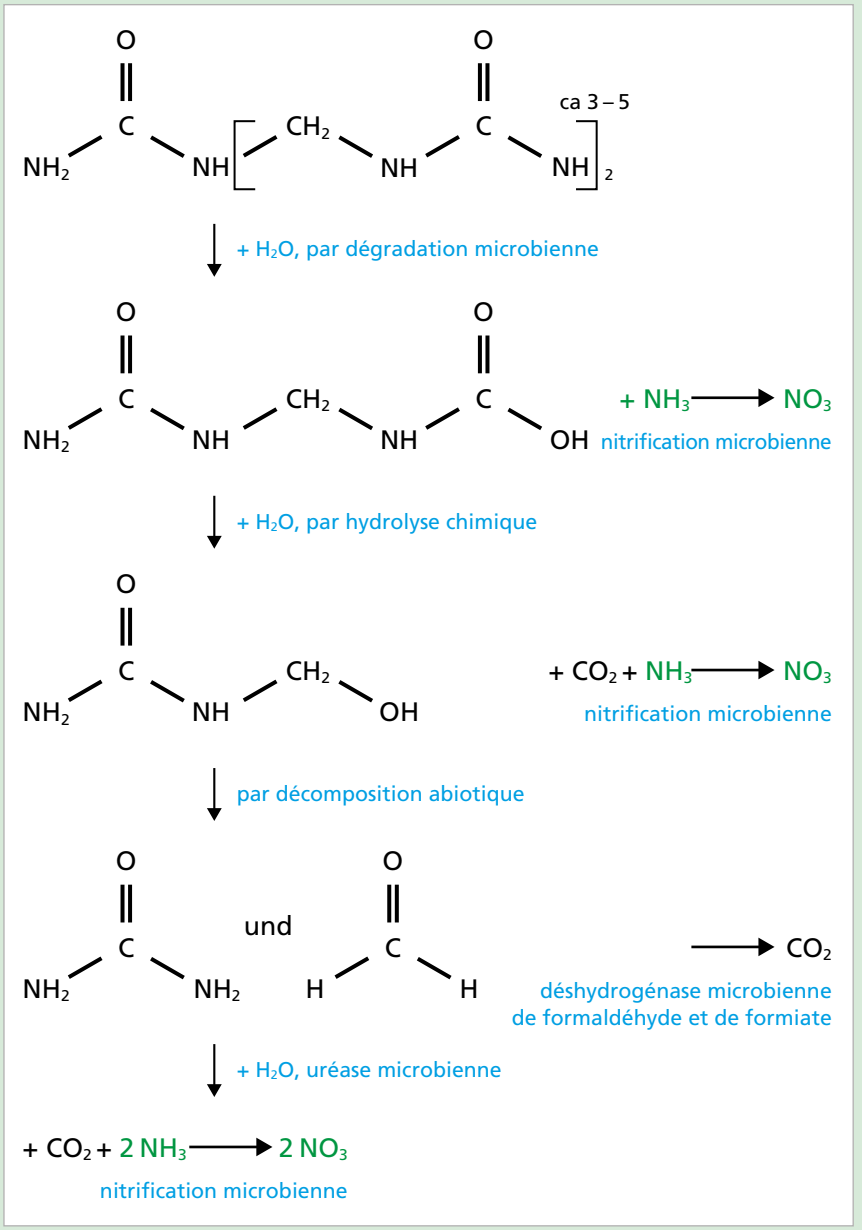
Différentes longueurs de chaînes : la composition de Tardit MU

Le méthylène-urée (méthylènediurée, méthylène triurée, triméthylène tetra-urée, etc.) est présent dans Tardit MU sous forme de molécules à chaîne courte et à chaîne longue dans des proportions déterminées et prédéfinies.

Tardit MU est transformé en liaisons d'azote disponibles pour les plantes grâce à l'activité microbienne. Deux groupes de bactéries entrent en jeu : les nitrosomonas et les nitrobacters. Elles transforment l'ammonium (NH 4 +) en nitrate (NO 3-) disponible pour les plantes. Ce processus minimise la perte d'azote par le lessivage ou le dégazement. Ainsi, Tardit MU est à la fois écologique et économique. Tardit MU ne provoque pas de dégâts aux racines ou aux feuilles, même en cas d'application de fortes doses, car il ne contient pas de substances salines actives. Même par températures très hautes ou très basses, il reste disponible dans le sol, car la nitrification est majoritairement conservée et que les nitrates ne sont pas lessivés.

Comme pour la courbe d'activité des micro-organismes, la libération de l'azote augmente lorsque les températures sont comprises entre 5 et 32 °C max. En outre, la dégradation se réduit. Durant la pause végétative en hiver, la transformation se ralentit en raison de la baisse des températures. L'azote qui n'a pas été minéralisé avant le début de l'hiver est disponible sans perte au printemps suivant. Afin que le méthylène-urée se dégrade continuellement, il a besoin d'être en contact avec un substrat ou un sol humide. Le processus de dégradation commence dès que l'humidité pénètre à travers le granulé. Des études ont montré que la vitesse de dégradation ne dépend pas de façon significative de la taille du granulé. Cela s'explique par la courte durée de mouillage par rapport à la phase de dégradation et de minéralisation. De ce fait la structure chimique et la mouillabilité doivent remplir certaines conditions.

Représentation schématique de la décomposition du méthylène-urée dans le sol.



Isobutylidène-diurée (IBDU, Nri)

Le condensé se compose d'une longue chaîne homogène (molécule ramifiée). L'IBDU est fractionné dans le sol par des procédés chimiques. L'effet longue durée dépend de la finesse de la poudre et des caractéristiques du sol (humidité, température, pH). Il faut savoir qu'en cas de pH bas, l'effet longue durée du produit ne sera que très court.

Crotonylidènediurée (CDU, NRc)

Le condensé se compose d'une longue chaîne homogène (molécule cerclé). CDU est fractionné dans le sol par des procédés chimiques et biologiques et minéralisée sous forme d'ammonium et finalement en nitrate par les microorganismes. L'effet longue durée dépend de la finesse de la poudre et des caractéristiques du sol (humidité, température, activité biologique). En cas de pH bas, l'effet longue durée de ce produit sera plus long que pour l'IBDU.

Engrais minéraux avec un effet retard

Effet dépendant de:	Granulés enrobées (Type Mega)	Urée avec un enrobage de polymère	Urée avec un enrobage de soufre	Condensés uréiques (urée de methylène, IBDU, CDU)	Produits ralentissant la nitrification
Température du sol	oui	oui	oui	oui	oui
Humidité du sol	faible	faible	faible	oui	oui
pH	non	faible	moyen	oui	oui
Type de sol	non	non	non	oui	oui
Activité biologique	non	faible	faible	oui	oui

L'influence de la température du sol sur la libération des substances nutritives va dans la même direction que le besoin des plantes: plus le sol est chaud, plus la croissance de la plante et avec elles les besoins nutritifs, seront grands. Tous les autres facteurs (humidité du sol, valeur de pH, type de sol) ne devraient influencer la libération des éléments nutritifs que faiblement. Les produits enrobés sont ainsi les engrais longue durée les plus fiables! Ils sont en général utilisés dans la production des plantes ornementales (plantes en pot) et les plantes de pépinière en containers.

Engrais organiques longue durée

Tous les engrais organiques (engrais du commerce, engrais de ferme, déchets de fermentation) ont un effet retard en rapport avec la libération de l'azote. Ce sont des engrais longue durée naturels.

La vitesse de minéralisation dépend de:

- L'activité biologique du sol, respectivement des substrats,
- La température du sol,
- Des matières premières (la poudre de corne agit plus rapidement que le fumier de bovins),
- La transformation (par ex. la farine de plumes hydrolysées agit plus rapidement que les plumes compostées),
- La structure; plus un produit sera fin, plus grande sera la surface du produit, laquelle sera en contact avec les microorganismes du sol (la poudre de corne agit plus rapidement que les raclures de corne, le mélange de farine, sera plus rapide que les pellets). En bref, plus la granulation des produits organiques sera grosse et plus la libération des éléments est lente.

Engrais minéraux spéciaux solubles à l'eau

Les **sels nutritifs** sont complètement solubles à l'eau pour la fertilisation liquide des cultures horticoles et des cultures agricoles spéciales. Les produits de qualité (par ex. „Hauert Ferty") se distinguent par les caractéristiques suivantes :

- L'azote est contenu généralement sous forme de nitrate. Le nitrate n'influence pas la valeur du pH et est la forme azoté la plus efficace.
- Ils ne contiennent pas ou peu de sulfate. Le sulfate est nécessaire à l'alimentation des plantes, un excès augmente inutilement la salinité dans le substrat ou le sol des cultures en serre.

La solution mère est préparée avec les sels nutritifs (16 – 20 kg de sel/100 l d'eau). Elle est ensuite diluée pour l'arrosage et dosée en fonction des besoins de la culture.

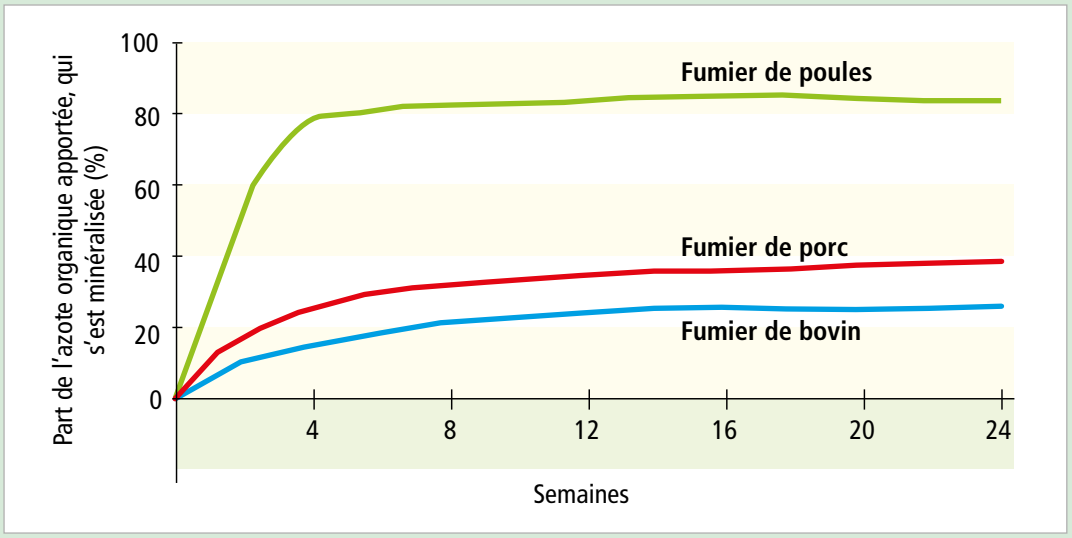
Les engrais liquides correspondent en principe à une solution mère de sels nutritifs. Ils sont employés dans les petites entreprises ou pour des utilisations spéciales. En raisons de techniques chimiques (précipitation du phosphore), la plupart des engrais liquides ne contiennent pas de magnésium. Dans les régions avec une eau de réseau douce, l'alimentation en magnésium doit faire l'objet d'une attention particulière. Par contre l'eau dure contient du magnésium en plus du calcium ce qui couvre les besoins de la plupart des cultures.

Caractéristiques des engrais organiques commerciaux et engrais de ferme

Type d'engrais	Caractéristiques
Paille	- Remplacement de l'humus, stabilise la structure du sol, protection contre l'érosion - Faible activité biologique, bloque l'azote (voir chapitre 4) - Réapprovisionnement de potasse
Engrais vert	- Approvisionnement en humus et décompactage en profondeur (effet très différent selon le type d'engrais vert) - Augmente l'activité biologique, diminue le lessivage des substances nutritives - Retient l'azote (uniquement chez les légumineuses)
Fumier pelletisé	- Approvisionnement en humus, haute activité biologique, idéal pour les sols pauvres en humus et peu actifs - Source d'azote à effet retard - Forte teneur en phosphore et potasse (fumier bovin)
Fumier de poules pelletisé	- Approvisionnement en humus, haute activité biologique, idéal pour les sols pauvres en humus et peu actifs - Approvisionnement en azote, très haute teneur en phosphore et calcium
Lisier	- Faible apport en humus, activité biologique pour sols peu actifs - Avant tout, apport en azote et potassium (lisier bovin)
Poudre de corne	- Engrais azoté efficace relativement rapidement (2 – 3 mois) - A base de sabots et de cornes de ruminants; désinfecté (hygiénisé) à la vapeur
Raclures de cornes	- Engrais azoté longue durée (3 – 5 mois) - A base de sabots et de cornes de ruminants
Farine de plumes	- Engrais azoté avec une efficacité rapide à moyenne; bon produit de mélange avec les autres matières premières - L'hydrolysation améliore la disponibilité pour les plantes
Poudre d'os	- Azote à effet rapide, le phosphate de calcium doit toutefois d'abord être transformé avant d'être disponible
Déchets de fermentation	- Peu d'humus, élève l'activité biologique dans les sols peu actifs - Effet azoté relativement rapide, approvisionnement en potasse et calcaire - Dans les engrais commerciaux, utilisation limitée (désinfection problématique, faible teneur en éléments nutritifs)
Composts	- Fort apport d'humus, conviennent pour les sols avec de faibles teneur en humus - Faible disponibilité en azote, fortes teneurs en phosphore et potasse (voir page 56)
Boues d'épuration	- Apport d'azote, activité biologique prioritaire pour les sols inactifs, source d'azote avec une efficacité lente - Haute teneur en phosphore (le phosphore stocké devient disponible), oligoéléments: bore, cuivre, manganèse et avant tout zinc (pour l'instant interdit en Suisse)
Germes de malt	- Apport d'humus, favorise l'activité biologique, idéal pour les sols pauvres en humus et peu actifs - Engrais azoté moyennement à rapidement efficace - Contiennent des hormones végétales naturelles qui influencent de manière positive la croissance des plantes
Tourteau de colza	- Idéal pour les sols pauvres en humus et peu actifs - Composants pour la fabrication des engrais organiques à action plutôt lente
Vinasse	- Effet azoté rapide - Convient à la fertigation (azote et potasse). - Sous-produit de la fabrication des sucres et levures

Le mélange des différents résidus permet la production d'engrais commerciaux optimaux pour compléter les engrais de ferme dans les entreprises bio.

Vitesse d'efficacité des engrais de ferme

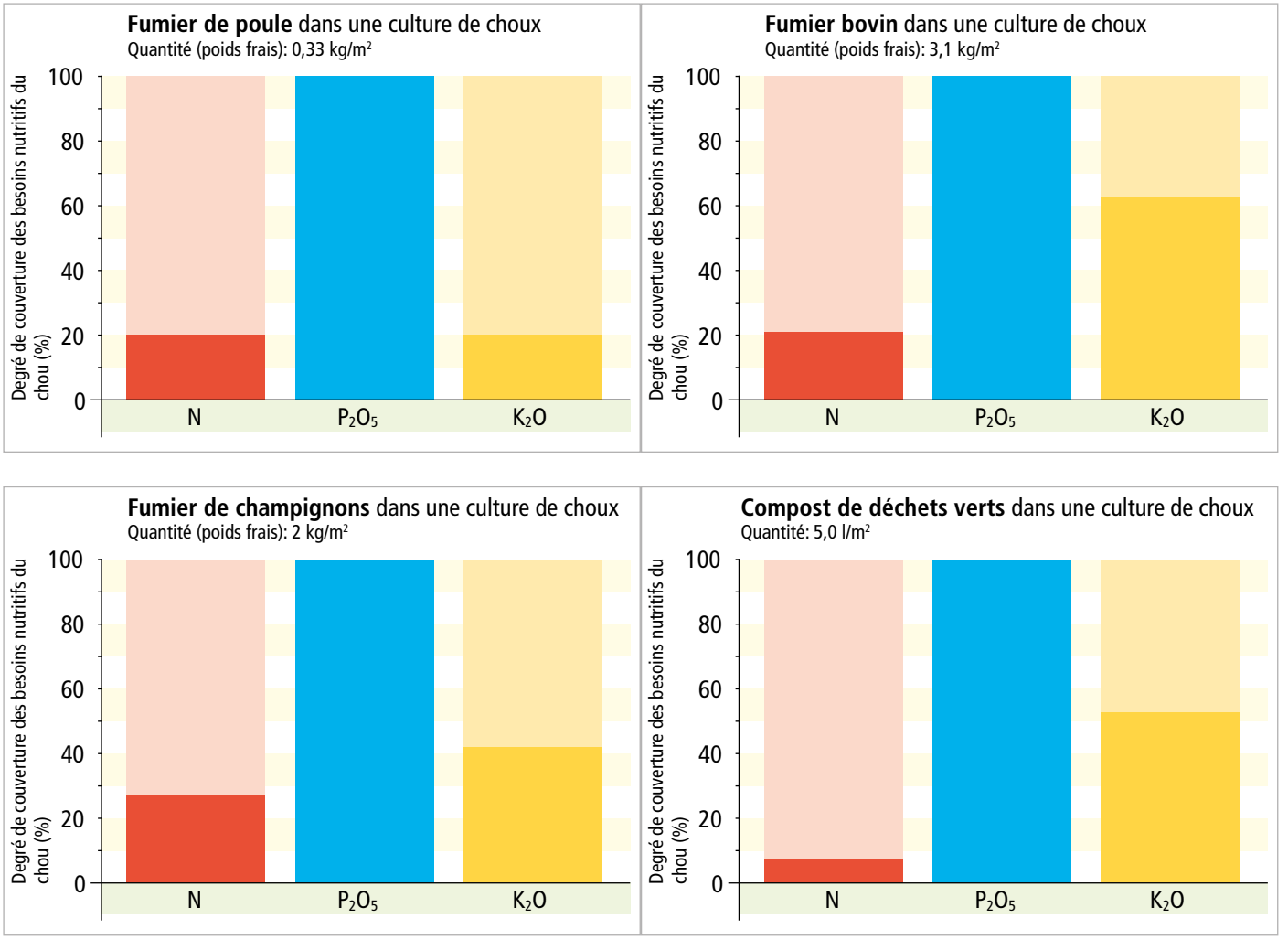


Le taux de minéralisation de l'azote des différents types d'engrais de ferme varie très fortement. Le taux de minéralisation des engrais organiques azotés du commerce se situe entre le fumier de poules et le fumier de porcs. Les engrais proposés sous forme de granulé agissent plus lentement que la poudre car ces dernières présentent une plus grande surface externe; Les microorganisme du sol minéralisent l'azote organique plus rapidement.

Teneur de quelques engrais organiques commerciaux et de ferme

Engrais	Unité	Teneur en élément pur (kg/m³ resp. kg/t)					
		Azote disponible pour les plantes	P_2O_5	K_2O	Mg	Ca (CaO)	Matière organique
Fumier							
Fumier de bovin, décomposé; fumier de tas	t	1–2	3,2	6,6	0,8	3,7 (5,2)	150
Fumier de poules (élevage au sol)	t	11–16	30	20	4,3	65 (92)	330
Fumier de cheval	t	0,7–1,8	5	19,5	1,3	5 (7)	240
Fumier de champignon	t	3	5	8	3	4 (5,6)	200
Compost							
Compost horticole (300 kg TS/m³)	m³	0,3	2,3	2,3	1,5	25 (35)	100
Compost vert (demandez toujours une analyse!)	m³	0,3	2	3,5	2	35 (49)	175

Les éléments nutritifs individuels des engrais de ferme et engrais issus de déchets sont toujours en déséquilibres par rapport aux besoins d'une culture (100 %; dans un sol pourvu normalement). Une alimentation optimale ne peut être atteinte qu'en apportant un complément avec un engrais du commerce.



Le fumier ou le compost seuls ne suffisent pas à couvrir de manière correcte les besoins en nutriments. C'est pourquoi un complément avec un engrais du commerce est indispensable!

L'exemple du chou (culture forte consommatrice d'engrais*) montre qu'avec une quantité de fumier ou de compost, qui couvre les besoins en phosphore, les besoins en azote et en potasse ne sont pas encore couverts.

Il s'agit de calculs types. Les quantités effectives de fumiers ou de compost recommandées sont en partie plus faibles.

*) Besoin nutritionnel brut $N/P_2O_5/K_2O$ (g/m²): 22/10/33

Granulations

Granulés ronds

Dans les granulés ronds, les éléments nutritifs individuels sont mélangés de manière très homogène. Les granulés ronds sont exempts de poussière et très faciles à épandre. Les granulés ronds sont un standard pour les engrais minéraux (par ex. la granulation „Granutec" de Hauert). Cependant, seuls quelques fabricants sont capables de produire des engrais organiques et des engrais organo-minéraux sous forme de granulés ronds sans poussière (une exception est par ex. la granulation „Sphero" de Hauert).

Engrais granulés en mélange (Bulk Blending)

Un engrais composé granulé se compose de différents granulés mélangés. Les granulés individuels présentent une teneur variable en éléments nutritifs. Etant donné que chaque composant n'a pas le même poids, il est possible que lors de l'épandage avec un semoir à disque, le produit se dissocie. Ce type d'engrais convient très bien pour les distributeurs pneumatiques d'engrais ou les distributeur en ligne.

Granulés compactés (procédé de compactage)

Cette granulation est très répandue pour les engrais utilisés pour la fertilisation en horticulture. Chaque granulé contient la même teneur en éléments nutritifs. Un peu de poussière peut se former.

Pellets

Les pellets sont, en particulier dans les engrais organiques complets, un procédé de granulation très répandu. Des engrais organo-minéraux sont également proposés individuellement sous cette forme. Avec ces produits il est possible d'épandre les engrais sur des grandes largeurs. Par rapport aux engrais organiques sous forme de poudre ou granulés fins, l'azote en pellets agit plus lentement. En raison de la surface externe plus réduite, la minéralisation par les microorganismes du sol est ralentie de 20 – 30 %, prolongeant l'effet du produit.

Poudre/Farine

Les poudres/farines ne sont presque plus utilisées pour la fumure en pleine terre, en raison de la forte formation de poussière. C'est pourquoi elles ne sont adaptées que pour la fertilisation de substrats et les sels nutritifs; Plus les sels nutritifs sont moulus fins et mieux ils se dissoudront dans la solution mère.

Pour augmenter l'effet longue durée, des raclures de corne sont souvent ajoutés aux engrais organiques en poudre.

08 La fumure correcte de cultures

Des recommandations concrètes de fertilisation se trouvent:

- **Dans la littérature professionnelle,**
- **Chez les obtenteurs et fournisseurs de jeunes plantes,**
- **Auprès des firmes d'engrais (brochure, fiche technique, site internet).**
- **Pour les cultures agricoles, cultures maraîchères, cultures fruitières, petits fruits et vigne, les lignes directrices en matière de fertilisation sont fournies par les stations fédérales de recherches agronomiques (Principes de la fertilisation des cultures agricoles en Suisse** (PRIF) **de Agroscope).**

Pour chaque culture, respectivement pour chaque groupe de culture, les aspects individuels de l'apport nutritif sont à considérer spécialement. Les aspects les plus importants sont résumés dans ce chapitre.

Fertilisation en production horticole

En production de plantes ornementales, l'approvisionnement correct en éléments nutritifs revêt une grande importance. Un manque ou un excès peuvent rapidement conduire, dans le volume restreint du pot, à des problèmes de croissance et une mauvaise floraison. **C'est pourquoi, la fertilisation des plantes en pots ou containers est fondamentalement plus exigeante que la fertilisation de cultures en pleine terre ou en plein champ!**

Si le substrat de culture pour les plantes ornementales ne contient pas tous les éléments nutritifs nécessaires à la plante dès le début de la culture, il sera nécessaire d'apporter une fumure complémentaire sous forme liquide en cours de culture.

La majorité des cultures de plantes en pot sont sensibles aux excès de salinité, plus particulièrement les jeunes plantes. La stratégie suivante a fait ses preuves:

- Equilibrer la nutrition avec des engrais solubles à l'eau, à un niveau correspondant à la fumure de fond (niveau de maintient).
- Apport d'un fumure partielle sous la forme d'un engrais longue durée enrobé au moment du rempotage et fumure complémentaire en cours de culture avec des sels nutritifs ou des engrais liquide.

Peu après l'empotage, les racines sont encore trop peu formées pour prélever de manière efficace le phosphate. Un sel nutritif riche en phosphate favorise le départ de la croissance. Comme le client ne prête fréquemment pas suffisamment attention à l'alimentation des plantes, celles-ci doivent disposer à la livraison de suffisamment de réserves nutritionnelles (fertilisation liquide jusqu'à la livraison ou ajouter au terreau un engrais longue durée enrobé avec une durée de libération plus longue que le temps de culture).

Des recommandations de fumure détaillées se trouvent sous www.hauert.com.

A certains stades de la culture, certains éléments sont très importants:

Stade	Type de fumure	Exemple de sel nutritif
Phase végétative	Equilibrée	Ferty 3 Mega 18+12+18
Lors de l'induction florale	Dominance phosphatée	Plantaktiv Starter 151, év. aussi Ferty 4 Mega 10+20+30
Floraison/post-floraison	Equilibré à dominance NK	Ferty 3 Mega 18+12+18 Ferty 4 Mega 10+20+30 Ferty 2 Mega 16+6+26 Ferty 8 Mega 18+0+22

Naturellement, lors d'une fertilisation complémentaire, tous les éléments nutritifs doivent être apportés. Le calcul des besoins en éléments nutritifs de l'ensemble de la culture peut se concentrer autour de l'azote considéré comme l'élément moteur.

Lorsque des apports de sels nutritifs ponctuels sont effectués correctement ou au bon moment (voir le tableau ci-dessus), il est alors apporté automatiquement à la culture les éléments nutritifs restants en quantité suffisante.

Besoin en azote des principales plantes en pot

Type de plante	Taille des plantes	mg d'azote par plante
Primula vulgaris		200 – 250
Saintpaulia	Petite variété	50 – 80
	Grande variété	100 – 200
Chrysanthème en pot	Petites plantes	200 – 300
	Plantes moyennes	300 – 400
	Grandes plantes	400 – 500
Cyclamen	Mini	150 – 250
	Plantes normales	450 – 600
	Grandes plantes	700 – 800
Bégonia élatior	Petites plantes	200 – 300
	Grandes plantes	400 – 600
Pélargonium	Petites plantes	300 – 400
	Plantes de semis ou plantes moyennes	400 – 500
	Grandes plantes	500 – 700
Poinsettia	Petites unitiges	200
	Petites plantes ramifiées	400 – 500
	Grandes plantes ramifiées	600 – 700
	Très grandes plantes ramifiées	800 – 1000
	Tiges	3000 – 5000
Impatiens de Nouvelle Guinée	Variétés moyennes	300 – 400
Viola/pensée		150 – 200

Bon à savoir au sujet de l'utilisation des sels nutritifs

- La solution mère est un mélange concentré de sels nutritifs et d'eau.
- Lors de la dissolution des sels nutritifs dans l'eau, un refroidissement de cette dernière se produit par extraction de chaleur. Il faut tenir compte de la température initiale de l'eau pour avoir une dissolution complète des sels nutritifs. Dans une eau à 15 °C, 16 kg pour 100 litres sont rapidement dissous alors que dans une eau à 45 °C cette proportion se monte à 20 kg de sels nutritifs pour 100 litres d'eau.
- Les sels nutritifs doivent être immédiatement dissous par un brassage constant. Les sels qui s'accumulent au fond de la cuve ne se dissolvent pas dans la solution et il se forme une zone de saturation au-dessus du dépôt de sel. Cette situation peut être évitée par un brassage constant (par exemple, avec une perceuse avec brasseur à ailettes).
- Si des oligo-éléments sont rajoutés séparément à la solution mère, ils devront être solubilisés préalablement et à part dans de l'eau chaude.
- Malgré une préparation soigneuse de la solution mère, une sédimentation se fait avec le temps. La crépine doit donc se trouver 6 à 8 cm au-dessus du fond de la cuve. Il est recommandé de rincer et de laver la cuve de temps en temps.

Indications importantes

Fertilisation liquide avec du nitrate de chaux

Le nitrate de chaux ne doit pas être mis en solution avec des composants sulfatés ou phosphatés (cela conduit à la précipitation de sulfate de calcium resp. de phosphates de calcium). Les mélanges avec „Hauert Amonit", „Hauert Magnit" ou „Hauert Potanit" sont toutefois possibles.

Fertilisation liquide avec du sulfate de potasse (Hauert Kalin)

Le sulfate de potasse est relativement peu soluble (dans l'eau à 20 °C, max. 10 %). En mélange, la solubilité de „Hauert Kalin" se réduit encore un peu plus: toujours dissoudre d'abord complètement le sulfate de potasse (Hauert Kalin) avant d'ajouter les autres sels.

Tolérance des plantes ornementales à la salinité

Tolérance à la salinité	Cultures	Zone optimale			
		Valeur d'EC dans le substrat [1]	Valeur d'EC dans l'eau d'arrosage [2]	Dureté de l'eau – Degré français (°fH)	Dureté de l'eau – Degré allemand (°dH)
Très sensible	Orchidées Fougères Broméliacées Semis **Multiplications de:** Azalées Bruyères Callunas	0,4 – 0,6	0,5 – 1,0	< 11	< 6
Sensible	Azalées Bruyères Aracées Jeunes plantes (en général)	0,6 – 0,8	1,0 – 1,5	< 15	< 8
Peu sensible	Bégonias Cyclamens Freesias Gerberas Roses Poinsettias	0,8 – 1,2	1,5 – 2,0	< 25	<14
Tolérant	Chrysanthèmes Pélargoniums	1,3 – 1,8	2,0 – 2,5	< 25	<14

[1]) Mesures des valeurs d'EC dans le substrat, respectivement la terre: voir „Méthodes rapides de mesure du sol" page 80. Si les résultats de mesures sont en-dessous de ces valeurs, il faut apporter de l'engrais plus souvent ou avec une concentration plus élevée. Si les résultats de mesures sont en-dessus de ces valeurs, la fumure d'appoint doit temporairement être réduite voir arrêtée.
[2]) La valeur d'EC est donnée pour une solution nutritive à base d'eau douce (eau de pluie). Pour les solutions à base d'eau dure, l'EC de l'eau du réseau doit être addi-tionnée. Vous pouvez connaître l'influence des sels nutritifs sur la valeur d'EC de l'eau d'arrosage en consultant les tabelles des fournisseurs de sels.

Bleuissement des hortensias

Pour que l'hortensia rose forme des fleurs bleues, il doit assimiler bien avant le début de la floraison une grande quantité d'aluminium.

Durant la culture:
- pH du substrat: 4,5 – 4,8 (pH en $CaCl_2$ 4,0 – 4,3). Stabiliser les substrats tourbeux avec du Bentonit au lieu de la chaux.
- Mélanger 3,5 kg de sulfate d'aluminium/m³ au terreau.
- Fertiliser avec des produits avec une forte teneur en nitrate et ayant une faible teneur en phosphate. Contenu maximal du substrat en P_2O_5, 150 mg/l (l'ammonium et le phosphate retardent le prélèvement de l'aluminium).

Durant le forçage:
Au début, 4 – 6 utilisations avec au total 1,5 – 2 g de sulfate d'aluminium/l substrat. Ne pas apporter de sulfate d'aluminium avec la solution nutritive.

Exemple d'utilisation pour plantes en pot:

Pot de 14 (environ 1 litre de contenance);
arroser 6 fois 100 ml avec une solution de sulfate d'aluminium à 0,3 %, 1 fois par semaine durant les six premières semaines du forçage.

Exemple d'utilisation pour un hortensia planté en pleine terre:

Conditions préalables: Sol (plate-bande tourbeuse) avec un pH de 4,5 – 4,8 (pH en $CaCl_2$ 4,0 – 4,3).

Après la floraison, pour la formation des bourgeons en automne: Arroser 3 - 4 fois avec une solution de sulfate d'aluminium (0,2% ; 4 l/m²).

Au printemps, avant le débourrage: Arroser 3 – 4 fois avec une solution de sulfate d'aluminium (0,2%; 4 l/m²).

Plantes condimentaires (en pots)

- Le marché demande aujourd'hui des jeunes plantes aromatiques avec le label Bio.
- Utiliser seulement du substrat avec du compost complètement décomposé.
- Apporter une fumure de fond avec des engrais azotés organiques (par ex. Biorga Quick) et veiller à un approvisionnement suffisant en phosphore.
- Fertilisation complémentaire avec un engrais liquide organique NK.
- Fertilisation finale (peu avant la livraison) avec un engrais granulé organique à effet longue durée.

Conseil professionnel

L'engrais utilisé lors de la fumure finale ne devrait pas dégager d'odeur désagréable. Biorga Vegi se compose exclusivement de matières premières organiques végétales et sent très bon.

Fertilisation en pépinière de containers et établissement cultivant des vivaces

Les exigences en fertilisation sont totalement différentes dans une pépinière avec des plantes en container que dans une pépinière de pleine terre. Le volume racinaire limité demande des mesures spéciales:

- Il est indispensable que les engrais „libèrent" des matières nutritives régulièrement durant une longue période. Même une courte période avec un approvisionnement trop abondant ou trop faible donne un produit final de mauvaise qualité.
- L'engrais ne doit pas contenir de substance de ballast (risque d'excès de sel)
- Le lessivage des éléments nutritifs doit être empêché (fumure partielle avec un engrais longue durée enrobé, fumure d'appoint avec des engrais de surfaçage avec effet longue durée)

Les variantes suivantes conviennent bien:

- Fertilisation totale avec un engrais longue durée complet enrobé. Des avantages au niveau de la technique de travail plaident pour cette variante. La fertilisation totale sous-entend un produit offrant une très haute fiabilité.
- La fertilisation partielle avec un engrais enrobé longue durée et une fumure d'appoint complémentaire avec un engrais de surfaçage (par ex. „Hauert Tardit Top" ou „Hauert Hortobalance Top"; collent rapidement et ne sont pas perdus lors du transport ou lorsque les containers se renversent). La fumure partielle permet un ajustement de la fertilisation par rapport à la croissance des plantes (climat, variété).
- Fertigation avec des sels nutritifs (attention aux prescriptions relatives à la protection des eaux, resp. aux interdictions).

- Les engrais longue durée enrobés devraient être si possible mélangés précautionneusement avec le substrat. Les granulés endommagés ou cassés perdent leur effet longue durée resp. provoquent une augmentation de la teneur en sels.
- Les terreaux enrichis d'engrais longue durée ne doivent pas être stérilisés à la vapeur.
- Les substrats fertilisés avec des engrais longue durée doivent être utilisés avant que le tas ou les big-bags ne s'échauffent (un échauffement provoque la libération des éléments nutritifs ce qui entraîne une augmentation de la salinité dans les pots et une diminution de l'effet longue durée), les granulés perdent ainsi leurs fonctions.
- Pour empêcher le blocage des éléments nutritifs, on utilise uniquement des substrats contenant des matières premières entièrement décomposées (déchets verts, écorces).
- Les substrats à base de compost partiellement décomposé sont particulièrement sensibles à l'échauffement.

Des recommandations de fumures détaillées se trouvent sur le site: www.hauert.com

Besoins nutritifs des plantes de pépinière en container

Dosage (fumure avec un engrais longue durée enrobé; kg/m³, resp. g/l)	Besoins en éléments nutritifs		
	Faible 2 - 3	Moyen 3 - 4	Fort 4 - 5
Abies nordmanniana	x		
Acer saccharinum		x	
Amelanchier canadensis		x	
Amelanchier laevis		x	
Berberis canadensis		x	
Berberis thunbergii		x	
Buxus sempervirens		x	
Callicarpa bodinieri		x	
Cedrus deodara		x	
Chamaecyparis law. „Alumji"			x
Chamaecyparis lawsoniana			x
Cytisus scoparius		x	
Deutzia gracilis		x	
Deutzia rosea		x	
Variétés à faible croissance	x		
Euonymus alatus		x	
Euonymus fortunei vegetus		x	
Exochorda racemosa		x	
Forsythia x intermedia			x
Genista tinctoria		x	
Hibiscus syriacus		x	
Hydrangeau paniculata			x
Hypericum calycinum		x	
Hypericum patulum		x	
Ilex aquifolium			x
Juniperus chinensis			x
Juniperus com. „Hibernica"		x	

Dosage (fumure avec un engrais longue durée enrobé; kg/m³, resp. g/l)	Besoins en éléments nutritifs		
	Faible 2 - 3	Moyen 3 - 4	Fort 4 - 5
Juniperus squam. „Meyeri"		x	
Kerria japonica			x
Kolkwitzia amabilis		x	
Ligustrum ovalifolium			x
Lonicera pileata		x	
Mahonia aquifolium		x	
Malus hybride		x	
Pachysandra terminalis	x		
Pinus cembra	x		
Pinus mugo mughus	x		
Pinus nigra austriaca		x	
Pinus wallichiana	x		
Potentilla fruticosa	x		
Prunus cerasifera	x		
Pyracantha coccinea		x	
Rhododendron repens	x		
Ribes sanguineum	x		
Salix repens	x		
Skimmia japonica	x		
Spiraea bumalda		x	
Spiraea japonica		x	
Taxus baccata		x	
Thuja occidentalis		x	
Viburnum burkwoodii		x	
Viburnum plicatum		x	
Viburnum rhytidophyllum			x
Weigelia hybride			x

Les recommandations des obtenteurs sont à prendre en considération prioritairement!

Fertilisation localisé (avec un apport d'engrais directement dans le pot)

- Lors de l'empotage, l'engrais est dosé directement dans le pot (manuellement ou mécaniquement). Seuls les engrais granulés longue durée enrobés de la plus haute qualité (par ex. la ligne „Mega" de Hauert) conviennent à la fertilisation localisée. Le type d'engrais et la quantité d'engrais peuvent être ajustés au mieux aux besoins de la culture grâce à la fertilisation localisée.
- En cas d'utilisation de la fertilisation localisée, lors du rempotage de plantes à racines nues, celle-ci ne devraient pas être en contact direct avec le dépôt d'engrais.

Les avantages

- Les mauvaises herbes et mousses sur la surface supérieure du pot sont clairement réduites.
- Moins de lessivage.
- Aucune insidence sur l'efficacité de l'engrais lors du stockage des substrats ou terreau (échauffement, perte de fonction de l'enrobage, fixation de l'azote, etc.).
- La quantité d'engrais pour la fumure (totale ou partielle) et le type d'engrais (durée de libération) peuvent être adaptés de manière flexible.

Quelques cultures peuvent être sensibles à la fertilisation localisée (croissance limitée des racines). Exemples: Rhododendron, Azalée, Bruyère, Skimmia.

Réduction de la quantité d'engrais pour la fumure dans les grands containers

Etant donné qu'avec l'augmentation de la taille des containers le risque de lessivage diminue (la distance de suintement augmente) et que le volume de développement des racines est plus important par rapport à la croissance de la plante (volume par rapport à la surface), la quantité d'engrais par litre de substrat peut être réduite quelque peu. Le tableau ci-dessous donne les valeurs indicatives des besoins moyens en éléments nutritifs.

Contenance du pot (litre)	Diamètre du pot (cm)	Fumure avec un engrais enrobé longue durée (besoin moyen)
10 – 15	25 – 30	3,5 g/litre
15 – 20	30 – 34	3,0 g/litre
20 – 25	34 – 37	2,5 g/litre
25 – 50	35 – 46	2,3 g/litre
Plus de 50 litres	Plus de 46	2,0 g/litre

De cette manière on évite l'eau d'infiltration et le lessivage des éléments nutritifs en container de pépinière

Sur une surface de containers en plein air moyennement utilisée, la quantité moyenne d'eau de suintement en pourcentage des précipitations at-teint environ 50% (y compris l'arrosage). Un risque élevé de lessivage par les eaux de suintement et par conséquent, la perte d'éléments nutritifs est constitué par les fortes précipitations en été mais avant tout en automne et en hiver lorsque le terreau des containers est saturé d'eau. Les éléments les plus exposés sont l'azote (nitrate), le potassium et le magnésium. Dans un substrat tourbeux avec un bon niveau de fertilisation, 10 mm d'eau de suintement peuvent déjà lessiver la moitié de ces substances nutritives.

Une fois que le niveau de fertilisation tombe en dessous de l'approvisionnement de base, c'est-à-dire que la plante doit puiser dans les réserves nutritives présentent dans le substrat, les besoins en nutriments peuvent devenir difficiles à couvrir durant la principale période de croissance végétative de mai à juillet.

Mesures pour réduire le lessivage des éléments nutritifs

- Utiliser des substrats avec de hautes facultés de rétention en eau.
- Approvisionnement de base avec des éléments nutritifs solubles pas plus élevé que les normes (risque de lessivage pour les anions, page 21).
- Dans un terreau sans engrais, assurer l'approvisionnement de base et l'approvisionnement longue durée avec la ligne „Mega" de Hauert (engrais longue durée enrobés).
- Choisir la longévité (durée de libération) des engrais longue durée (ligne „Mega" de Hauert) afin qu'ils couvrent au minimum les besoins nutritionnels durant le temps de la culture ou qu'ils les dépassent même un peu.
- L'efficacité de la fertilisation totale avec un engrais longue durée enrobé (ligne „Mega" de Hauert) est la meilleure, si elle est combinée avec la méthode de fertilisation localisée dans le pot.
- Eviter l'eau de suintement: grouper les containers par taille afin qu'ils puissent être arrosés le plus précisément possible. L'arrosage ne doit pas engendrer d'eau de suintement.

Pépinière de plein air et culture de sapins de Noël

Afin d'obtenir un équilibre en substances nutritives et en eau, des lignes de pépinière laissées sans végétation, dont le sol est grumeleux (travail du sol superficiel), sont importantes.

Pour assurer un approvisionnement régulier en éléments nutritifs, sans à-coup de croissance, il est avantageux d'utiliser un engrais azoté longue durée. Il n'est pas nécessaire d'apporter les autres substances nutritives sous forme enrobée (sol de culture). L'engrais Hauert pour sapins de Noël nourrit aussi de façon optimale les pépinières de pleine terre.

Dans un sol normalement enrichi, un rapport (N : P : K : Mg) de 3 : 1 : 3 : 0,5 se révèle favorable pour les plantations de pépinière de pleine terre. De cette manière, seule la zone racinaire des arbres est nourrie. La zone des racines correspond à la couronne végétale.

Nous conseillons une analyse de sol avant la plantation afin de déterminer les quantités exactes d'engrais nécessaire.

Besoin en azote d'une pépinière de pleine terre (kg N/ha)

Année*)	Conifères		Feuillus**) besoins nutritifs		
	Picea (Epicea)	Abies (Sapin blanc)	Faible	Moyen	Elevé
1. – 2.	15 – 20	25 – 40	25 – 30	30 – 45	40 – 60
3. – 5.	20 – 40	40 – 60	40 – 60	50 – 80	80 – 100
Dès la 6.	40 – 60	60 – 80	60 – 80	80 – 100	100 – 140

*) Pas d'azote durant l'année de plantation mais apporter une fumure de base P-K-Mg.

**) Exemples des besoins en azote d'arbres feuillus

Faible	Moyen	Elevé
Acer palmatum	Acer	Aesculus
Alnus	Berberis	Amelanchier
Betula nana	Betula	Carpinus betulus
Cornus alba	Corylus avellana	Cornus mas
Daphne	Crataegus	Fagus sylvatica
Genista	Deutzia scabra	Fraxinus
Hippophae	Elaegnus	Juglans
Lonicera	Forsythia	Ligustrum
Potentilla	Ilex	Malus
Viburnum	Philadelphus	Platanus
Abies	Populus	Sambucus
Juniperus	Prunus	Sorbus
Pinus mugo	Ribes	Tilia
Taxodium	Robinia	Ulmus
Tsuga	Pyrus	
	Rosa	
	Salix	
	Symphoricarpus	
	Chamaecyparis	
	Ginko biloba	
	Larix	
	Picea	
	Pinus	
	Pseudotsuga	
	Taxus	
	Thuja	

Dans de nombreuses régions, la valeur du pH est supérieure à l'optimum, raison pour laquelle, l'approvisionnement en microéléments demande une grande attention (voir à la page 34 Les carences nutritives et leurs corrections).

Fertilisation du jardin ornemental

Dans les conditions suivantes, la fumure de plantes est beaucoup plus exigeante que pour des plantes en plein air. Dans tous les cas, il est recommandé d'utiliser un engrais organique ou un engrais enrobé longue durée.

- **Nouvelles plantations:** Créer une bonne structure de sol dans l'espace racinaire, par exemple en incorporant des composants minéraux poreux ou fibreux. Du compost tout au plus dans un rapport de volume de 1 part de compost pour 10 parts de terre. Il n'est pas rare qu'une forte augmentation de la teneur en sel se produise lors d'apports plus importants. Des matériaux organiques frais de même que du fumier ne conviennent pas.
  Fumure: 3 – 4 g d'engrais longue durée enrobé ou des raclures de corne peuvent être mis dans le trou de plantation pour 10 litres de terre de remplissage.
- **Plantes en bacs, pots, et dans les jardins suspendus**
- **Buissons et arbres fortement taillés** (haies formées, arbres d'allée)
- **Plantes dans de mauvaises situations** (arbres dans des bacs de gravier)

Hivernage des plantes méditerranéennes

Les besoins en éléments nutritifs durant la période passée en hivernage sont très faibles. Durant tout l'hivernage, le substrat doit rester humide (mais non saturé). Si les feuilles deviennent jaunes malgré suffisamment de lumière, il s'agit de carences en azote et en magnésium.

Remède: arroser plusieurs fois avec 0,1% de „Hauert Magnit" (nitrate de magnésium liquide).

Garnir les plates-bandes de fleurs d'une épaisse couche supérieure (horizon A) tel que de l'humus mais pas de compost. Un sol supérieur bien structuré stocke les éléments nutritifs et l'eau sous une forme disponible pour les plantes.

Il faut faire particulièrement attention à l'approvisionnement en magnésium des arbustes et arbres.

Fertilisation des gazons

Les besoins en éléments nutritifs dépendent des facteurs suivants:

- Type d'utilisation: plus le terrain est utilisé plus il doit être fertilisé.
- Structure du sol: une construction sur du sable ou un sol contenant beaucoup de sable nécessitera plus d'engrais qu'un gazon semer sur la terre en place.
- Matière organique/couleur: une terre pauvre en humus aura besoin de plus d'engrais qu'une terre riche en humus
- Charge: plus le nombre d'heures de jeu et d'utilisation est important plus les besoins en éléments nutritifs augmentent.
- Evacuation des déchets de tonte: Les éléments nutritifs enlevés lors des coupes doivent être compensés.
- Une présence importante de mauvaises herbes indique qu'il est nécessaire d'augmenter l'apport en matières nutritives.
- Age de l'installation: une nouvelle installation demande plus de substances nutritives qu'un gazon établi.

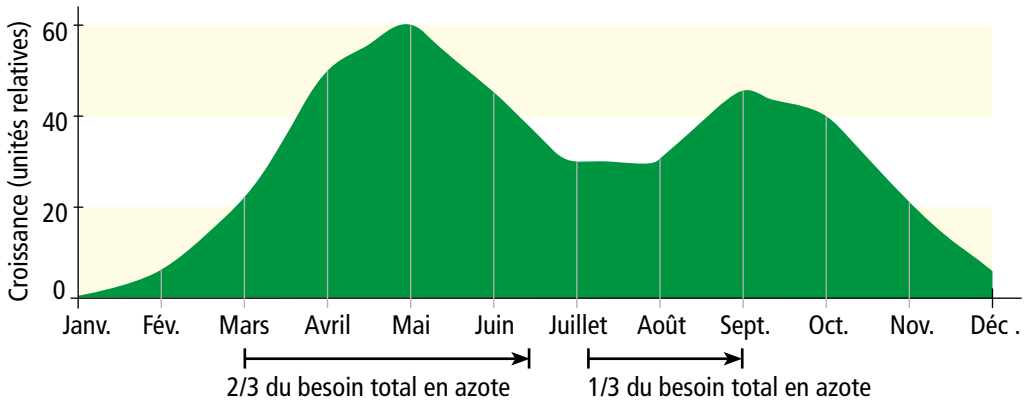
La fumure azotée des gazons est plus importante que pour toutes les autres cultures horticoles, c'est l'élément central. Les besoins en azote d'une surface engazonnée est déterminés en fonction de la situation et de son utilisation (voir le schéma à la page 90).

Les besoins en P, K et Mg sont couplés aux besoins en azote de la surface. Le rapport N : P : K : Mg de la fumure, pour un sol normalement pourvu est: 1 : 0,3 : 0,6 : 0,1.

Besoins nutritifs des gazons (g/m²/an)

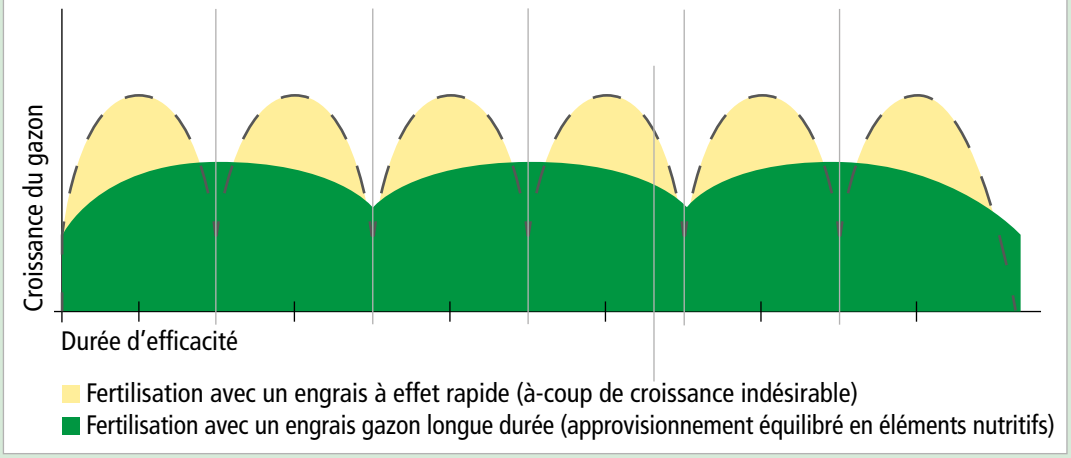
Type de gazon	N	P_2O_5	K_2O
Gazon intensif (Green)	30 – 35	9 – 10	16 – 18
Gazon de sport	25 – 30	7 – 9	12 – 16
Gazon ornemental (gazon familial et sport)	20 – 25	5 – 6	6 – 12
Gazon extensif	10 – 12	2 – 4	5 – 8

Evolution des besoins en azote



Le besoin en azote des graminées du gazon ne sont pas tout le temps les même. Vous trouverez un plan de fumure pour les gazons sous: **www.hauert.com**

Comparaison d'efficacité des engrais gazon à effet rapide/à effet longue durée



Nouvelles installations et régénérations

Pour une croissance rapide des graminées du gazon fraichement germées, il est également nécessaire de veiller à un bon approvisionnement de phosphore et potassium en plus de l'azote. Les engrais gazon pour semis et d'automne sont particulièrement adaptés („Hauert Progress Finish"). Pour les nouveaux semis, on épand 150 – 300 g/m^2 d'un engrais complet riche en potassium („Geistlich Expert Semis") que l'on enfouira à 3 – 4 cm de profondeur à l'aide d'un motoculteur, ceci pour atteindre une répartition homogène. Le mélange dans la couche porteuse du gazon est par contre beaucoup plus exigeant pour obtenir un mélange homogène. Il est préférable que ce travail soit fait par des spécialistes. La fertilisation se fait avec 2 – 3 kg/m^3 d'engrais précité. Pour améliorer les caractéristiques d'écoulement de l'eau, on peut aussi mélanger „Geistlich Expert Cornusol".

Prévenir les mousses

Lorsque les conditions ne sont pas idéales pour les graminées du gazon, des mousses et des mauvaises herbes apparaissent. Les graminées du gazon souffrent principalement des facteurs suivants:

Facteur	Remède
Trop peu de substances nutritives	Augmenter la quantité d'engrais, éventuellement le nombre des apports
Sol compacté (horizon A) et en partie de l'eau stagnante en surface	Aération suivie d'un sablage - améliorer la structure
Feutrage	Scarifier - éliminer le feutrage
Tonte trop basse	Ne pas tondre plus bas que 4 – 5 cm (gazon de sport: 3 cm)
Tonte trop précoce en début de saison	Ne pas commencer trop tôt les tontes au printemps

Un bon engrais gazon épandu de manière adaptée, aussi souvent que nécessaire, empêche le développement de la mousse de façon fiable

Dans les parcs et les gazons de piscine, les mousses et les mauvaises herbes prennent souvent le dessus. Ceci signifie que le gazon n'est pas assez nourri. Une quantité plus importante d'engrais empêche le développement de la mousse et des mauvaises herbes. Avec „Hauert Progress Park", les besoins en éléments nutritifs peuvent être apportés en un seul apport pour une année.

Approvisionnement en chaux et mousse

Si le pH est en-dessous de 6, le gazon s'affaiblit et les mousses augmentent. Un apport de chaux renforce les graminées. En cas de pH élevé, l'apparition de mousse n'est pas due à un manque de chaux! (voir tableau page 19 „Classement des sols d'après leur pH").

Mesures de lutte contre la mousse à court terme

- Epandre Geistlich LawnSand (peu avant la pluie ou arroser après l'épandage)
- Sulfate de fer: diluer 100 g dans 10 l d'eau pour 10 m² et repartir avec un arrosoir sur la surface.

Taches de rouille et dalles en béton

„LawnSand" contient du sulfate de fer pour repousser la mousse. Mais si „Lawnsand" entre en contact avec des dalles de jardin ou toute autre partie de maison ou de terrasse (même en petites quantités, transportée par le vent ou des chaussures). Une mise en garde se trouve sur les emballages. Si des taches de rouille apparaissent, celles-ci doivent être traitées très rapidement.

Elimination des taches de rouilles avec de l'acide citrique

Important: l'élimination des taches de rouille doit se faire le plus rapidement possible après leur apparition. L'indispensable acide citrique est en vente en droguerie ou pharmacie sous forme pure et stable (qualité alimentaire).

Diluer 100 g d'acide citrique dans 1 litre d'eau (l'acide n'est pas corrosif pour les mains).

Arroser les dalles avec la solution afin de bien les mouiller. Frotter fortement les dalles avec une brosse dure. Laisser agir 2 à 3 heures et répéter la procédure sans rincer. Après une nouvelle heure, rincer abondamment avec beaucoup d'eau. Veillez à ce que l'acide citrique n'entre pas en contact avec le gazon ou des plantes. Répéter l'opération si nécessaire.

S'il n'est pas possible d'éliminer totalement les taches, on peut compter sur une décoloration graduelle.

Légumes

Les exigences de fertilisation des différentes espèces de légumes sont très diverses. Pour une fumure ciblée, les normes de fumure des services techniques (PRIF*) sont multipliées par les facteurs de correction relatifs aux analyses de sol (P, K, Mg).
Lors de la prise en compte de l'azote des résidus de récolte, compost et engrais de ferme, il faut faire très attention aux cultures de courte durée (salade, etc.). Selon l'état de décomposition, la fertilisation azotée doit même être augmentée.

Baies

Les baies développent des enracinements superficiels et sont ainsi sensibles à une trop forte salinité dans la zone racinaire (attention à l'utilisation de compost). Le prélèvement de substances nutritives durant l'année de plantation est déterminant (de la plantation au repos végétatif: 15 kg N/ha). Un excès d'azote durant cette phase provoque un ralentissement de la formation des boutons floraux. Il est ainsi recommander de bien contrôler les apports, même au printemps (tenir compte de la teneur en humus du sol)! Le rendement souffre d'une fumure trop faible. Une fertilisation trop intensive augmente le développement du feuillage au détriment de la formation des fruits. De plus, le botrytis est favorisé, diminuant la résistance des baies au transport et leur conservation.

Conseil de professionnel: Légumes

- Dans les cultures courtes (salades, radis, etc.), il faut prêter une attention particulière à l'approvisionnement en phosphore. Les racines encore peu développées ne peuvent pas prélever suffisamment de phosphore, même dans un sol suffisamment fourni en P. C'est la raison pour laquelle, peu avant la plantation, il faut apporter environ 50 kg de P_2O_5 soluble dans l'eau dans un sol suffisamment pourvu en P.
- Les engrais azotés enrobés longue durée donnent de bons résultats dans les cultures précoces sous toile ainsi que dans les cultures longues d'été. L'apport régulier de substances nutritives empêche le lessivage des nitrates et améliore le rendement et la qualité.

Conseil de professionnel: Baies

Les baies préfèrent les sols légèrement acides, raison pour laquelle des engrais exempts de chaux doivent être utilisés (engrais spéciaux pour les baies, par ex. „Hauert engrais pour baies et fruits").

Fraises: Si la culture est en deuxième année, il faut prêter particulièrement attention à la fertilisation azotée, car en deuxième année, les fraises ont tendance à favoriser la formation de feuilles.

Myrtilles: dans un sol à pH trop élevé (plus de 5), les myrtilles réagissent vite avec une carence en fer, raison pour laquelle le pH du substrat peut être éventuellement abaissé (voir Chapitre 12 „Abaissement du pH dans les sols/substrats", page 87).

Les racines des myrtilles sont particulièrement sensibles aux excès de sels. Diviser les apports d'engrais et utiliser des engrais longue durée (par ex. „Hauert Tardit Top").

Fruits à pépins et à noyau

Les recommandations de fumure générales et brèves pour les cultures fruitières ne sont pas possibles. Les variétés, porte-greffes, niveau de rendement, types de sol influencent fondamentalement la fertilisation optimale.

Vigne

Le vaste réseau racinaire de la vigne permet un prélèvement efficace des éléments nutritifs et la grande masse de bois stocke les éléments nutritifs durant une longue période. Le fractionnement des apports est dans ce cas inutile.

* Principes de la fertilisation des cultures agricoles en Suisse de Agroscope.

Normes de fumure pour les arbres fruitiers et la vigne

Culture	Rendement potentiel (kg/a)	Epoque de fertilisation	Fumure (kg/ha)[2] N	P_2O_5	K_2O	Mg
Fruits à noyau	300	P, K, Mg: au début de la végétation (stade oreille de souris - coton); N: 50 % au début de la végétation; 50 % au début de la floraison	50	10	40	5
	600		80	30	110	20
Cerises	80		40	15	40	5
	160		80	30	65	15
Pruneaux/Prunes	100		40	10	35	5
	200		80	20	65	10
Pêches	150		45	10	45	5
	250		75	20	70	15
Abricots	150		45	20	60	5
	250		75	30	90	15
Kiwis	150		40	10	60	5
	250		65	20	90	10
Fraises	150	Pour plantation en arrière-automne	0 – 40[1]	25	80	15
		Début de croissance au printemps	30[1]			
		Floraison	30[1]			
	250	Pour plantation en arrière-automne	20 – 40[1]	45	160	25
		Début de croissance au printemps	40[1]			
		Floraison	40[1]			
Framboises	100	Début de végétation	30	20	45	10
	250	Début de végétation[3]	75	50	90	20
Mûres	150	Début de végétation	40[4]	25	45	15
	250	Début de végétation	70[4]	45	85	20
Raisinets/groseilles	150	Début de végétation	60[4]	30	90	15
	250	Début de végétation	110[4]	60	150	20
Cassis	150	Début de végétation	50[4]	30	85	15
	250	Début de végétation	90[4]	50	155	20
Groseilles à maquereau	120	Début de végétation	40[4]	25	60	15
	220	Début de végétation	80[4]	45	110	20
Myrtilles	100	1/2 en début de végétation, 1/2 à la fin mai[5]	45[4]	20	65	15
	200	1/2 en début de végétation, 1/2 à la fin mai[5]	55[4]	30	75	25
Vigne	120	Peu avant le début de la floraison	50	20	75	25

[1] Pour une fumure sur la ligne, réduire de 50 %; réduire en cas de forte teneur en humus, augmenter en cas de faible teneur en humus.
[2] Ces valeurs s'appliquent à des sols normalement approvisionnés.
[3] Les valeurs totales supérieures à 60 Kg N se fractionnent en 2 apports 2/3 au début de la végétation; 1/3 à la floraison).
[4] Azote: 2/3 au début de la végétation; 1/3 après la floraison.
[5] Pour empêcher les dégâts aux racines: utiliser des engrais longue durée à base d'urée de méthylène (par ex. „Hauert Tardit Top").

Faire particulièrement attention à l'approvisionnement en magnésium (la carence conduit à un dessèchement de la rafle).

09 La fumure en agriculture biologique

La fumure en agriculture biologique se distingue par les points suivants:

- Conservation des ressources naturelles à travers le recyclage des éléments nutritifs à l'échelle de l'entreprise (cycle des éléments nutritifs le plus fermé possible).
- Solutions à long terme concernant la compensation écologique, les rotations de cultures et la gestion de la fumure.
- Attention particulière à toutes les mesures visant à préserver et améliorer les propriétés (chimiques, biologiques, physiques) du sol.
- Les engrais du commerce (en complément aux engrais issus des entreprises de transformation et d'emballage, ainsi que les engrais de ferme) doivent être composés de fumier, poudre de roche ou sous-produits de l'industrie alimentaire (d'origine végétale ou animale). En Suisse, la liste des intrants autorisés en agriculture biologique est fournie par l'Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL).

Une grande partie des besoins en phosphate, potasse, soufre, magnésium et oligoéléments peut être couverte avec des résidus végétaux, des engrais de ferme et du compost. Une bonne structure du sol favorise la formation d'une grande masse de racines. Cela permet ainsi aux racines d'absorber une partie des éléments nutritifs fixés dans le sol.

Si l'on détecte un sol peu ou mal alimenté (par exemple une exploitation sans bétail), il est possible de compléter le phosphore (P) et le potassium (K) avec un engrais agréé du commerce, présent dans la liste des intrants. Les engrais P et K du commerce ne sont pas épandus dans les assolements en agriculture biologique. On les administre de préférence aux cultures de légumineuses qui, d'une part, ont un besoin élevé en P et, de l'autre, absorbent facilement le P et le K dans leur forme difficilement soluble.

Une attention particulière doit être accordée à l'approvisionnement en azote

- Si l'engrais de ferme ou issus de déchets n'est pas ou peu décomposé, il ne fournira pas d'azote à la culture. Au contraire, il absorbera pour sa décomposition l'azote présent dans le sol à disposition des plantes (cf. chapitre 4).
- Pour les cultures précoces (légumes, céréales d'hiver), le taux de minéralisation est insuffisant même dans les sols ayant une grande proportion d'humus (température du sol basse)
- De même, pour les cultures de printemps ou d'été ayant une durée courte à moyenne (salades, choux, poireaux, pommes de terre), il faut ajouter de l'azote en plus des engrais de ferme et composts afin d'obtenir des qualités et rendements optimaux.

Pour les cultures de durée courte à moyenne, il faut utiliser des engrais azotés organiques à effet rapide (par exemple „Biorga Quick").

Ces engrais agissant naturellement sur le long terme, la quantité indiquée doit être administrée au moment de la plantation ou, dans le cas des céréales d'hiver, au début de la végétation. Les engrais ayant une action lente ne peuvent être utilisés que pour les cultures annuelles ayant une longue durée ou pour les cultures pluriannuelles.

Il existe d'autres moyens de fournir l'azote nécessaire aux cultures:

- Chaque surface binée minéralise de l'azote. La quantité varie beaucoup selon la teneur en humus, la température et l'humidité du sol. Une ancienne règle paysanne estime qu'avec chaque binage, 30 kg N/ha sont minéralisés.
- Le purin, ainsi que le fumier ou le compost bien décomposés, contiennent des quantités considérables d'azote assimilable par les plantes (cf. chapitre 7).
- Des légumineuses (trèfles, petit-pois, haricots, lupins, etc.) en culture principale ou intermédiaire sont un autre moyen d'augmenter la quantité d'azote dans le sol. La fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par les rhizobiums peut aller jusqu'à 250 kg N/ha dans la biomasse de la couche supérieure. Lors du changement de culture, environ un tiers de l'azote serait disponible pour les plantes après la décomposition.

Lors de la fertilisation, on veillera à obtenir une distribution régulière lors de l'épandage. Lors de la fabrication, on prendra garde à obtenir un poids spécifique suffisamment élevé des pellets d'engrais. Un spectre granulométrique homogène est également très important pour un épandage uniforme.

Engrais biologique pour l'horticulture et le paysagisme

Des raclures de corne peuvent être mélangés au compost pour la fumure des plates-bandes de fleurs, d'arbustes ou d'arbres. Les raclures de cornes constituent un engrais de longue durée naturel. Il ne faudrait pas administrer plus de 2 – 3 l/m^2 d'un mélange de 200 g de raclures de corne et de 10 litres de compost. Des quantités supérieures d'engrais peuvent s'avérer excessives à moyen terme. Ce mélange ne doit pas être utilisé comme terreau, la quantité d'éléments nutritifs serait beaucoup trop élevée.

Comme solution simple, Organos peut être utilisé comme engrais complet.

Pour les gazons fertilisés selon les directives biologiques, il existe des engrais spéciaux pour gazon qui sont indiqués dans la liste des intrants autorisés en cultures biologiques par l'Institut de recherche de l'agriculture biologique („Engrais pour gazon Biorganic" de Hauert).

10 Analyses en laboratoire et méthodes rapides

Pour un apport adapté en éléments nutritifs, des examens en laboratoire sont indispensables.

Analyses du sol

Pour une fumure ciblée, il est nécessaire de considérer les besoins des plantes en éléments nutritifs de même que les différentes caractéristiques du sol. Celles-ci peuvent être identifiées au moyen d'analyses périodiques du sol, qui servent à l'optimisation des prochaines fumures ainsi qu'au contrôle des mesures de fumures précédentes. Pour la nutrition des plantes, seule la partie des substances nutritives qui peut être absorbée dans un „délai utile" par les racines est pertinente. Ce „délai utile" dépend d'une part de la durée de la culture et, de l'autre, de la tendance du sol à lessiver les éléments nutritifs. La majorité des cations nutritifs est plus ou moins fortement liée aux particules d'argile et d'humus (cf. chapitre 4). Seule une petite partie est en solution dans l'eau du sol (cf. page 12).

Afin de pouvoir mesurer la quantité de nutriments disponibles, ceux-ci doivent être extraits du sol, car ces ions doivent aussi être identifiés dans une solution aqueuse. Il faut pour cela définir les moyens d'extraction à mettre en œuvre. En principe, il n'y a pas de bonne ou de mauvaise méthode, car chacune présente des avantages et des inconvénients. Chaque méthode d'analyse ou d'extraction nécessite son propre schéma d'interprétation (p. 93). L'étalonnage s'effectue à l'aide d'essais de plantes de grandes envergures, avec différentes conditions de sol. Des limitations quant à l'utilisation des différentes méthodes peuvent également en découler. Afin des les éviter de manière élégante, il est recommandé d'analyser non seulement les éléments nutritifs facilement disponibles dans le sol, mais aussi ceux disponibles à plus long terme. Une combinaison appropriée des deux valeurs (calculées par le laboratoire) permet d'obtenir des indications fiables sur la quantité et la disponibilité des éléments nutritifs d'un sol. Ces analyses font partie de la routine de notre laboratoire (analyse standard et programme complémentaire).

Extraction des nutriments facilement disponibles

On extrait uniquement les éléments nutritifs qui se trouvent dans la solution du sol. Cette méthode d'extraction est suffisamment fiable pour les cultures de courte durée (p.ex. les cultures sous serre de légumes à croissance rapide, les plantes en pots ou lorsque l'on veut simplement déterminer le niveau d'approvisionnement en azote). En complément à une méthode d'extraction des réserves, elle fournit d'importantes informations complémentaires sur la disponibilité des éléments nutritifs.

Extraction des éléments nutritifs en réserve

Des produits d'extraction plus acides permettent de dissoudre une partie des nutriments échangeables. Ces méthodes fournissent d'importantes données pour la correction de fumure à long terme et sont donc particulièrement appropriées pour ce type de cultures (p.ex. les gazons, les pépinières, les cimetières, l'arboriculture, la viticulture, etc.).

Fraction nutritionnelle	Méthode d'extraction	Utilisé pour la mesure de:					
		Azote	Phosphore	Potasse	Calcium	Magnésium	Oligoéléments
Facilement disponible	Eau	x	x	x	x	x	(x)
	Eau saturée en CO_2		x	x			
	$CaCl_2$ (chlorure de calcium)					x	
Extraction par échange (réserves)	(AAC) Acétate d'ammonium + EDTA		x	x	x	x	x
	CAL (Acétate-lactate de calcium)		x	x			
	CAT ($CaCl_2$/DTPA)		x	x		x	(x)
	DL (double lactate)		x	x			

Le cas spécial de l'azote

Les analyses du sol permettant de déterminer l'azote, mesurent la teneur en azote directement disponible dans le sol (nitrate et/ou ammonium). La quantité d'azote peut varier très rapidement selon la teneur en humus ou en argile, l'humidité ou la température du sol et les précipitations. Ainsi, chaque analyse doit être considérée comme un instantané ayant une durée de validité limitée. Il est néanmoins souvent utile de connaître le niveau d'alimentation en azote, afin de pouvoir prévoir des corrections de fumure ciblées à court terme. D'autant plus qu'une carence en soufre ou d'autres nutriments cause des symptômes très semblables à ceux d'une carence en azote. Une différenciation ne peut être établie dans ce cas que sur la base d'une analyse appropriée. Si l'on soupçonne une carence en azote, une analyse des éléments hydrosolubles, y compris l'azote, est indiquée (programme standard de notre laboratoire).

Le cas particulier des oligoéléments

Il est rare que la teneur des sols en oligoéléments soit trop basse (à l'exception par exemple du cuivre en cas de surfaces défrichées et dans des sols très humiques ou du bore et du manganèse dans les sols légers). Une carence dans les substrats fertilisés est également rare, et lorsqu'un engrais contenant des oligoéléments est utilisé, une carence est pratiquement exclue.

Une carence en oligoélément est souvent due à de mauvaises conditions du sol (pH inadapté, terrain compacté, sol trop sec ou trop mouillé).

Il est possible, même lorsqu'une carence est établie visuellement, que le laboratoire mesure des valeurs suffisantes (cf. tableau „Principales interactions", p. 13).

Détermination du pH

Il y a principalement deux méthodes d'extraction:

- Mesure par extraction au $CaCl_2$,
- Mesure par extraction à l'eau.

Remarques: Le pH mesuré par extraction au $CaCl_2$ est inférieur d'environ 0,5 à 1 unité par rapport à des mesures effectuées par extraction à l'eau. Les mesures effectuées directement dans le sol ou dans le substrat sont peu fiables en raison de la forte influence de l'humidité du moment.

Fréquence des analyses

Production de plantes ornementales (sous serre)

Avant le début d'une culture, afin de déterminer les résidus de nutriments solubles et d'adapter la fumure, en particulier de l'azote (uniquement pour les nutriments solubles à l'eau). Analyses des sols sous serre tous les 2 à 3 ans pour corriger à long terme P et K (nutriments hydrosolubles et en réserve).

Gazon pour terrains de sport

Il est recommandé de procéder à une analyse du sol tous les 4 à 5 ans pour une planification fondée de la fumure (nutriments solubles à l'eau et de réserve).

Pépinières

Une analyse est recommandée avant une nouvelle mise en culture, puis à intervalle de 4 à 5 ans pour corriger la fumure (nutriments solubles à l'eau et de réserve).

PI (production intégrée): tous les 5 ans (programme d'analyse selon les directives PI).

PER (prescriptions écologiques requises): tous les 10 ans (programme d'analyses selon les directives PER).

Cultures maraîchères

Suisse-Garantie/Bio: sols sous serre ou en tunnel, tous les 2 ans pour évaluer la fumure (solubles à l'eau et de réserve).

Pleine terre au moins tous les 5 ans.

PER: tous les 10 ans (programme d'analyses selon les directives PER).

Arboriculture, viticulture et baies

L'analyse est recommandée avant une nouvelle mise en culture.

Suisse-Garantie: conseillé au moins tous les 5 ans (programme d'analyse selon les directives).

PER: tous les 10 ans (programme d'analyses selon les directives PER).

Prélèvement

Le résultat d'une analyse du sol sera aussi fiable que l'échantillon même. Plus on récolte d'échantillons par parcelle, pour ensuite bien les mélanger, plus le résultat sera fiable. Il faut prélever les échantillons du sol avant la fumure ou l'apport de fumier ou de compost. L'automne est le bon moment pour cela.

Surface représentative

La surface à analyser doit présenter des conditions homogènes. Par exemple, une butte peut être très différente qu'une dépression au niveau de la teneur en argile et en humus ou de la profondeur du sol. De plus, l'exploitation antérieure de la surface doit également avoir été uniforme (rotation des cultures, travail du sol, fumure, etc.).

Profondeur représentative

Les échantillons doivent être prélevés dans la zone où a lieu principalement l'absorption des nutriments (zone avec beaucoup de radicelles). La couche supérieure du sol (2 à 3 cm) doit être enlevée lors de la prise des échanti llons lorsqu'il s'agit d'une culture permanente (p.ex. gazons ou haies), de sols sous serre, d'un sol non labouré ou si l'on constate sur la structure grumeleuse du sol un duvet de sel blanchâtre.

Culture		Profondeur du prélèvement (cm)
Gazons		0–20
Pépinières	nouvelle mise en culture	0–25
	dès la 2ème année de culture	0–30
	en plus pour les racines profondes	30–60
Plantes ornementales (par ex. aussi les fleurs coupées)		0–20
Plantations d'arbustes ou de haies		0–30
Prairies et pâturages: avec couverture herbeuse		0–10
Terres arables et prairies artificielles: couche de labour		0–20
Cultures maraîchères		0–30
Arboriculture et viticulture	couche supérieure (sans couche végétale herbeuse)	0–25
	Sous-sol	25–50
Plantes de baies (sans couverture herbeuse)		0–30

Trouvez plus d'informations sur les analyses :
www.hauert.com/ch-fr/angebot/labordienstleistungen

Pour des mauvaises croissances par secteur:

Selon les indications précédentes, il faut prélever un mélange d'échantillons de chaque zone de la parcelle, soit un échantillon de la bonne et un échantillon de la mauvaise. La comparaison des deux résultats d'analyses fournit de bonnes indications (directes et indirectes) sur la cause de la mauvaise croissance.

Pour des substrats:

Tout comme pour les sols, la prise d'un échantillon représentatif est également essentielle pour les substrats et les composts.

Pour des entreposages en tas ou en andain:

Prélever à l'aide d'une pelle prélever des échantillons séparés de 8 à 12 endroits différents. Faire une coupe transversale dans le tas (couche supérieure, couche médiane, couche centrale):

- Mettre le matériel dans un seau propre et bien mélanger,
- Mettre un échantillon d'environ 5 dl dans un sac en plastique propre,
- Marquer les indications d'usage (parcelle, analyse etc.) à l'aide d'un feutre indélébile (résistant à l'eau et au frottement).

Pour des analyses de terre de pots ou de containers:

- Choisir au hasard 5 à 8 plantes,
- Prélever avec une cuillère un „profil" de haut en bas du pot,
- Mélanger soigneusement le substrat et mettre un échantillon d'environ 5 dl dans un sac en plastique propre,
- Marquer les indications d'usage (parcelle, analyse etc.) à l'aide d'un feutre indélébile (résistant à l'eau et au frottement).

Constitution d'échantillon:

Si les conditions susmentionnées sont remplies, l'on peut constituer un échantillon représentatif avec 10 à 12 carottes prélevées dans la diagonale de la parcelle:

- Mettre la terre des prises individuelles dans un seau propre, mélanger et mettre un échantillon de 2 à 3 dl dans un sac en plastique propre (respecter pour cela les consignes du laboratoire d'analyse),
- L'humidité de l'échantillon devrait être „normale" (pas mouillée),
- Marquer les indications d'usage (parcelle, analyse etc.) à l'aide d'un feutre indélébile (résistant à l'eau et au frottement).

Attention!

Si un engrais enrobé longue durée a été mélangé au substrat, il ne faut pas abîmer les billes lors de la prise de l'échantillon (si nécessaire dépoter d'abord les plantes)!

Les échantillons de terre et d'eau ne doivent pas entrer en contact avec de l'engrais (pas même avec une trace d'engrais)! Laver soigneusement les seaux, les pelles et les mains qui ont été en contact avec de l'engrais avant la prise des échantillons. Utiliser des sacs en plastiques neufs!

Interprétation des résultats d'analyse et recommandations de fumure

L'adaptation de la norme de fumure à la teneur en éléments nutritifs du sol se fait à l'aide de facteurs de correction. La teneur du sol en phosphore, potasse et magnésium peut être divisé en cinq classes d'après les facteurs de correction. Le laboratoire convertit la teneur en substances nutritives analysée en classe de nutrition ou en facteur de correction.

Facteurs de correction	Appréciation	Classe d'approvisionnement
> 1,4	pauvre	A
1,2 – 1,4	médiocre	B
0,9 – 1,1	suffisant	C
0,2 – 0,8	réserves	D
< 0,2	enrichi	E

La différence entre l'extraction des éléments de réserve et les éléments solubles à l'eau donne de précieuses informations sur le sol. Lorsque l'on a une grande quantité de nutriments en réserve et une faible quantité d'éléments nutritifs rapidement disponibles pour les plantes, il s'agit en général de sols avec un fort pouvoir tampon. Inversement, une faible quantité de nutriments en réserve et une grande quantité de nutriments rapidement disponibles indique en général des sols avec une faible capacité d'échange. Les sols ayant beaucoup de réserves et riches en nutriments rapidement disponibles (en particulier l'azote) sont généralement des sols actifs, c'est-à-dire des sols avec une grande activité biologique.

Si les résultats des éléments solubles à l'eau et des éléments de réserves sont issus d'une analyse à l'extrait d'AAC EDTA, les facteurs de correction seront calculés comme suit:

Culture de courte durée (p.ex.: culture maraîchère)

$$\frac{2 \times \text{Facteur de correction des éléments solubles à l'eau} + 1 \times \text{Facteur de correction des éléments de réserves}}{3} = \text{facteur de correction pour la fumure}$$

Culture de longue durée (p.ex.: gazon, pépinière, arboriculture et viticulture)

$$\frac{1 \times \text{Facteur de correction des éléments solubles à l'eau} + 2 \times \text{Facteur de correction des éléments de réserves}}{3} = \text{facteur de correction pour la fumure}$$

Choix de l'engrais d'après les facteurs de correction

Facteur de correction nutriments solubles à l'eau	Facteur de correction nutriments de réserve	pH [1)]	Solubilité de l'engrais
> 1			soluble à l'eau
< 1	> 1	> 6,8	soluble à l'eau
< 1	> 1	< 6,8	non soluble à l'eau

[1)] n'en tenir compte que pour P et Mg

Afin de calculer la quantité de substances nutritives nécessaires pour couvrir les besoins d'une culture en particulier, la norme de fumure pour l'élément en question (p.ex. en kg d'élément/ha) est multipliée par le facteur de correction. Cela donne la norme de fumure corrigée pour cet élément nutritif. Il faut répéter l'opération pour tous les nutriments que l'on administre par la fumure. Une combinaison appropriée des engrais (y compris le fumier et le compost) permettra d'adapter l'apport de nutriments aux besoins tout en tenant compte de l'approvisionnement du sol.

Méthodes rapides de mesure du sol

Des contrôles et des mesures importantes pour la conduite de la culture peuvent également être pris sur l'exploitation par le cultivateur. Il est en effet possible de déterminer, avec un investissement relativement faible, si la fumure est „sur la bonne voie". Pour cela, la mesure de l'EC est capitale. Elle permet en même temps de déterminer le pH. Avec de la terre ou du substrat il faut préparer un „échantillon" destiné à la mesure:

Mesure de l'EC et du pH du sol ou du substrat

- Prendre une bouteille en plastique transparente et marquer les niveaux de remplissage correspondants à 200 ml et 300 ml.
- Remplir avec de l'eau déminéralisée ou distillée jusqu'à la marque des 200 ml.
- Rajouter de la terre ou du substrat à l'eau jusqu'à la marque des 300 ml (humidifier auparavant si l'échantillon est très sec).
- Fermer le récipient et secouer énergiquement pendant environ 1 minute.
- Placer la sonde EC directement dans la suspension et relever la mesure (mS/cm).
- Tremper l'électrode calibrée pour la mesure du pH dans la suspension et relever la mesure.

Interprétation de la valeur EC dans le substrat

Tolérance à la teneur en sel	Faible (p. ex.: multiplication)	Moyenne	Haute	Très haute
Zone d'EC standard	< 0,7	0,7 – 1,4	1,4 – 2,0	> 2,0

Interprétation de la valeur EC dans le sol

État de l'approvisionnement	Faible	Moyen	Haut	Très haut*)
Pleine terre	< 0,1	0,1 – 0,3	0,3 – 0,6	> 0,6
Sous serre	< 0,3	0,3 – 0,6	0,6 – 1,2	> 1,2

*) Des dégâts sont possibles

Mesures selon les valeurs EC

La valeur mesurée indique directement la quantité de sels en solution dans l'échantillon et donc également la quantité de substances nutritives facilement assimilable. Elle ne donne cependant pas de précision sur le type de nutriments. Cela est négligeable dans le cas d'une valeur EC basse, car dans ce cas la fumure doit simplement être augmentée. Si la valeur est dans la norme et que la croissance des plantes est normale, la fumure ne doit pas être modifiée. Si par contre la valeur est supérieure à celle visée, sans qu'aucun symptôme n'affecte les plantes, la fumure peut être réduite ou momentanément supprimée. Une analyse en laboratoire s'impose uniquement si la valeur est normale ou supérieure à la norme et que des symptômes de dégâts se manifestent.

Mesure de l'activité

Certains appareils permettent de mesurer l'activité du sol (mesure AM) en plus de l'EC. L'unité de mesure est spécifique à l'appareil. L'avantage est que la mesure peut être effectuée directement dans le substrat avec une sonde. Cependant, l'humidité et le niveau de compactage du substrat ayant une grande influence sur le résultat, cette méthode est surtout utile pour se faire une idée générale de la situation. En cas de problèmes dans la culture il est recommandé d'analyser régulièrement le substrat et d'examiner éventuellement les résultats en collaboration avec un laboratoire compétent.

Les **valeurs d'activité AM** suivantes indiquent un substrat normalement alimenté en nutriments et il est donc possible de renoncer à une mesure EC (en extraction); (valable pour les appareils „PNT 3000 COMBI", „Step System GmbH"):

- Substrat plutôt sec: 0,2 – 0,3
- Humidité normale: 0,3 – 0,4
- Substrat plutôt humide: 0,4 – 0,5

Valeur de pH optimale

Bien que les plantes soient assez tolérantes par rapport au pH, il y a pour certaines cultures des valeurs limites au-dessus ou au-dessous desquelles il ne faut pas aller. Généralement, les cultures fragiles réagissent par des chloroses ou, si elles absorbent des éléments toxiques à la suite d'un pH trop bas, par des nécroses ou encore avec plus ou moins de symptômes différents (les „symptômes multiples"). Lors de l'interprétation, il faut être attentif au moyen d'extraction utilisé pour la mesure. Il s'agit pour cette méthode d'eau déminéralisée, comme indiqué dans la majeure partie des notices bibliographiques sans indications spécifiques.
Les valeurs optimales dépendent des espèces et parfois même des variétés de plantes. Le mieux est de s'en tenir aux indications du fournisseur ou de l'obtenteur. Pour les cultures „bien établies", la littérature spécialisée ou les comptes rendus d'essais peuvent être consultés.

Remarques pour l'achat d'appareils

Les appareils qui seront utilisés sur le terrain devraient être robustes et faciles à manipuler. Les pièces de rechange, comme les électrodes et les câbles, ainsi que les accessoires comme les solutions de calibrage doivent être rapidement et facilement disponible. Le mieux est de se procurer les équipement d'analyse du sol auprès d'un distributeur d'appareils pour la mesure des sols en horticulture (Internet). Les détails devraient être clarifiés avec le fournisseur lors d'un entretien.

Mesures d'EC dans l'eau et les solutions de substances nutritives

Mesure d'EC de l'eau d'irrigation: Ne pas utiliser d'eau stagnante. Le mieux est de faire couler l'eau un moment avant de la mesurer, afin d'en assurer la fraîcheur. Il faut tenir compte de la température.

Mesure d'EC dans les solutions fertilisantes utilisées: Compte tenu de la dureté de l'eau, la concentration de sels nutritifs peut être calculée; pour cela, la table de conversion du fournisseur de sels nutritifs est nécessaire.

11 Compostage et utilisation du compost

Lors du compostage, les bactéries, champignons et petits animaux transforment le matériel organique en humus. Ce processus qui a absolument besoin d'oxygène, s'appelle la décomposition. Sans oxygène le matériel organique pourrit avec pour conséquence, le dégagement d'odeurs désagréables. L'aération jusqu'à l'intérieur du compost et une humidité suffisante sont des conditions indispensables pour obtenir un compostage réussi.

Fabrication d'un compost de qualité

Matériaux

Le rapport C/N des matériaux à composter devraient présenter des valeurs situées entre 20 : 1 et 30 : 1.

Conviennent bien – optez pour une forte proportion de ces matériaux (selon la préparation 70 – 90 % du poids possible):

- Déchets de taille de branches et d'arbres et copeaux de bois
- Déchets de cuisine végétaux non transformés

Conviennent sous certaines conditions – maintenir si possible une proportion inférieure à 20% du poids):

- Les déchets de jardin et de tonte de gazon
- Les déchets broyés provenant de la production maraîchère
- Feuilles, paille, chaume

Ne conviennent pas – maintenir une proportion inférieur à 1% du poids:

- Du matériel apportant une teneur élevée en éléments nutritifs (par ex. uniquement du matériel contenant beaucoup d'azote).
- Matériel avec une forte proportion de terre
- Déchets de cuisine
- Cendres
- Déchets carnés et ou déchets contenant des graisses
- Papier
- Matières fécales de carnivores

Eviter également les matériaux provenant de régions à problèmes, dont on sait par expérience qu'ils contiennent un fort taux de métaux lourds (bordure de routes, régions présentant de fortes concentrations de métaux lourds).

Préparation

- Plus la surface du matériel est grande, plus rapide sera la transformation des matières décomposées en substances nutritives disponibles. Le matériel de décomposition devra toutefois être stabilisé à l'aide de matériaux apportant de la structure au compost.
- Parts souhaitables des différents éléments par taille: (en % vol.): matériel fin (< 40 mm): 60 %, matériel moyen (40 – 100 mm): 30 %, matériel grossier (apportant de la structure; 100 – 250 mm) 10 %
- Plus l'andain est grand et plus la proportion de matériaux grossiers devra être élevée.
- Pour la préparation, des broyeurs permettant de réduire les déchets de taille ou de coupes d'arbres et de branches en morceaux de taille adéquate sont très bien adaptés.

Temps de décomposition

- Un compost issu d'un andain, peut être utilisable après 3 mois selon la conduite de la décomposition et les matériaux utilisés. Sinon on compte en moyenne 6 mois pour la préparation d'un compost.

Brassage

- Selon la taille du tas ou de l'andain, celui-ci devra être retourné tous les 8 – 15 jours, tout en sachant qu'au début des intervalles plus courts sont nécessaires.

Taille de l'andain

- Se règle selon la décomposition et la préparation des matériaux à composter. Les petits tas nécessitent plus des matières fibreuses fines. Avec l'avancement de la décomposition, la grosseur du tas devrait être réduite, étant donné qu'un compost de plus en plus mur sera particulièrement sensible au tassement.

Teneur en eau

- 40 – 50 % d'eau dans la substance fraiche durant chaque phase du processus sont idéales. Une teneur en eau trop faible provoque un ralentissement du processus de décomposition et une libération déséquilibrée des éléments nutritifs. Pour éviter que le tas ne soit gorgé d'eau, recouvrir avec une bâche pour compost ou tout autre toile protectrice. Le contrôle se fait manuellement en serrant un échantillon de compost avec le poing ou par séchage d'un échantillon à 105 °C.

(Source: Substrate im Ökolandbau: FibI/IGZ/Uni Kassel; 2005; légèrement modifié)

Evolution possible de la température à l'intérieur de l'andain

I Phase de chaleur

- Pour une hygièniisation, assurer au moins 3 semaines à 55 °C ou 1 semaine à plus de 65 °C (les petits tas s'échauffent moins, les gros tas présentent des températures élevées uniquement dans la zone externe). Pour cela, une part de déchets verts se décomposant rapidement et de copeaux de bois pour garantir la structure sont nécessaires. De fortes proportions de terre et substrats ralentissent l'échauffement.
- Des brassages répétés durant la phase d'échauffement de l'andain permettent d'hygiéniser également les couches externes.
- La teneur en oxygène ne devrait pas descen-dre en-dessous de 10 % du volume en O_2. Un brassage trop intensif et un apport d'oxygène peut conduire à de fortes pertes d'azote. Une humidité élevée régulière (40 – 50 % d'eau) durant cette phase est très importante.

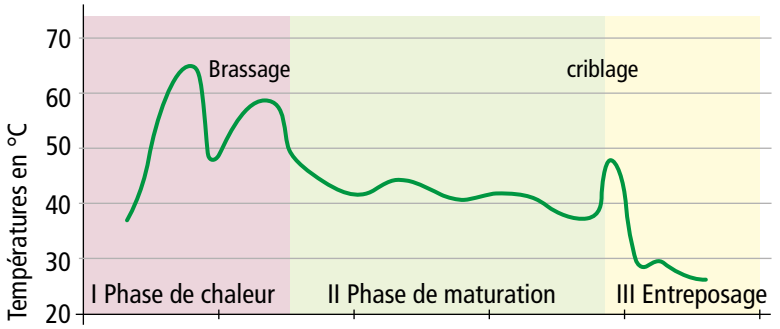
II Phase de maturation

- Durant la phase de maturation (40 – 55 °C), une teneur optimale en eau et un fort approvisionnement en oxygène favorisent principalement les champignons, lesquelles peuvent dégrader des substances com-plexes (dans la première phase, ce sont les bactéries qui jouent un rôle important).
- Les pertes en azote durant cette phase sont relativement faibles. Les conditions nécessaire à la formation de nitrates sont uniquement favora-bles à ces températures.
- Des teneurs en oxygène de plus de 15 % sont idéales.

III Entreposage

- La phase d'entreposage débute avec le tamisage. Ensuite, une protection contre la saturation en eau, les graines de mauvaises herbes apportées par le vent, les sciarides et les larves de sciarides ainsi que l'échauffement est nécessaire (par exemple une toile de compostage).
- L'approvisionnement en oxygène doit être assuré.

Evolution possible des températures dans le tas



Rapport C/N

Le rapport carbone C sur azote N des substances organiques (mélange décomposé) est une valeur de référence pour l'appréciation de la dégrada-bilité des substances organiques. Le rapport C/N renseigne sur la richesse de l'humus en azote et sur l'activité biologique du milieu.

Lorsque le rapport C/N est supérieur à 25, le ma-tériel destiné à être décomposé a tendance à fixer l'azote. Les microorganismes sont freinés dans leur multiplication et leur activité, la maturation du compost est ralentie. En cas de fort dépassement, il peut aussi arrivé que de l'azote soit soustrait aux cultures (voir „Rapport C/N et mobilisation de l'azote", page 18).

Lorsque le rapport C/N est étroit, respectivement lorsque peu de composés de carbone sont présent (compost mûr, humus, tourbe), l'azote organique lié est transformée en azote minérale. Lorsqu'un tel cas se présente (analyse de laboratoire), il faut veiller à ce que le compost ne devienne pas trop sec (pertes d'azote sous forme gazeuse comme de l'ammoniac ou du NO_x), ni trop mouillé (danger de lessivage et dans des conditions anaérobies, pertes d'azote sous forme gazeuse – N_2).

Les sols et substrats, auxquels ont apportent un matériel organique avec un C/N large devraient être enrichis avec un engrais azoté (par ex. „Hauert Biorga Composter"). De cette manière seulement, les microorganismes peuvent décomposer les substances organiques cellulosiques, riches en lignine, les fibres de coco, les pots recyclés à base de papier).

Moyens de compostage et substrat inoculateur

Phase de démarrage

Avec l'apport d'un agent de compostage riche en azote, le processus de compostage est accéléré, avant tout durant la première phase et les odeurs sont réduites. Le développement de chaleur est augmenté ce qui agit positivement sur l'hygiènisation. La quantité d'agent de compostage nécessaire dépend du type de matériau à composter:

- Matières fraîche: 300 – 400 g „Hauert Biorga Composter" par m^2 et couche de 10 à 15 cm.
- Matières préalablement décomposées: 600 – 800 g „Hauert Biorga Composter" par m^2 et couche de 10 à 15 cm.

Phase de maturation

Afin de permettre au compost de mûrir au plus vite, on peut inoculer le compost, après la phase de montée en température, avec quelques pelletées de terre franche ou avec du compost mûr à raison de 20 – 30 l/m^3. Ces matières contiennent de grandes quantités de microorganismes très variés et utiles, et conviennent particulièrement bien pour l'inoculation. Mais l'inoculation n'est efficace qu'après la phase chaude car durant cette phase, où les températures sont relativement élevées, les microorganismes responsables du mûrissement de compost sont détruits.

Compost frais

Le compost frais de 3 – 6 mois peut être épandu (2 – 3 l/m^2) sous les arbustes. Le compost frais doit être légèrement incorporé à la surface du sol. Il ne doit pas être utilisé pour les semis, le bouturage ou les plantes en pot. Le compost frais ne convient pas non plus pour la fabrication de terreau pour plantes.

Le compost mûr

Le compost est généralement mûr après six à douze mois et deux à plusieurs brassages, c'est-à-dire aérations; les odeurs et l'aspect sont les mêmes que de la terre de forêt. Il est recommandé de cribler le compost mûr avec un tamis à tambour dont les mailles font 5 – 25 mm, afin d'ôter les morceaux de bois qui pourraient ralentir la croissance future des plantes. Le compost mûr criblé peut être utilisé dans les plates-bandes de fleurs et de légumes à raison de 2 – 3 l/m3 ou entrer dans la composition de substrat (20 – 50 % du volume, selon les caractéristiques du compost et les exigences du substrat). Au jardin, le compost peut être incorporé en surface de mars à août. Pour cela, il est indispensable de respecter les recommandations de dosage car trop de compost peut apporter trop d'engrais à la terre de jardin. Il est aussi recommandé d'analyser la terre du jardin régulièrement. Le compost contient beaucoup de phosphore mais aussi de la potasse et de la chaux, et comparativement peu d'azote, ce qui signifie que lorsque la croissance est insuffisante, un apport complémentaire d'azote est nécessaire.

Que faire lorsque ...?

Problème	Solution
Le matériel est trop sec: en serrant le matériel dans votre point, vous n'arrivez pas à former une boule de compost restant compact.	Apporter de l'eau (arroser lentement et régulièrement jusqu'à ce que l'eau s'infiltre jusqu'à mi-hauteur de l'andain) ou mélanger du matériel organique frais, humides (déchets de tonte, déchets de cuisine).
Le compost est trop humide, il sent mauvais: En serrant le compost dans votre poing, de l'eau sort du compost; le compost à une odeur désagréable et est gras.	Couvrir le compost avec une bâche et/ou ajouter du compost décomposé ou de la paille et bien aérer.
Le compost ne s'échauffe pas: Teneur en eau trop élevée et/ou matériel trop tassé compact. Trop peu de matériel ligneux, apportant de la structure, tas trop petit, manque d'azote disponible.	Ajouter des copeaux de bois (branches broyées) avec un agent de compostage azoté („Hauert Biorga Composter") en grande quantité lors du brassage pour améliorer la structure (gros andains). Protéger l'andain afin d'éviter une saturation en eau.

Tests de maturité

Test d'odeur

Avec une pelle, on prend 8 à 12 échantillons à des endroits différent. Prendre ces échantillons à tous les endroits (au bord, au centre et au cœur du tas). De mauvaises odeurs indiquent une mauvaise compatibilité avec les végétaux. Dans ce cas, un test de cresson s'avère nécessaire.

Test du cresson

Remplir deux récipients ou soucoupes avec 2 – 3 cm de compost criblé*), humidifié et semer du cresson. L'un des récipient est recouvert d'un film alimentaire (transparent), l'autre reste découvert. Les récipients sont entreposés à la lumière mais pas en plein soleil. Après 2 à 3 jours, la plupart des graines devraient germer.

Si une semaine après, des feuilles vertes et des racines blanches se sont bien développées, alors le compost est mûr et peut être utilisé sans problème pour toutes les cultures. Si les graines germent mal, que le récipient fermé sent mauvais à l'ouverture ou que les feuilles sont jaunes ou mortes, alors le compost manque de maturité ou il présente une décomposition insuffisante (fermentation).

Recommandation: Pour le contrôle, semer une troisième soucoupe avec un substrat irréprochable comme „témoin". La comparaison entre la soucoupe témoin et les soucoupes contenant le compost apportera la preuve que la croissance est influencée par le substrat et non par d'autres facteurs comme par exemples, les graines ou le lieu.

*) On peut aussi utiliser un pot à confiture rempli à moitié avec le compost.

Analyses de compost

Les composts du commerce sont analysés régulièrement, selon la législation en vigueur (Ordonnance sur la réduction des risques chimiques). Pour que les analyses soient acceptées par le contrôle officiel, elles doivent avoir été menées par un laboratoire reconnu. Une liste des laboratoires Suisses reconnus est à disposition auprès de la Station fédérale de recherche Agroscope Reckenzholz-Tänikon ART. Avec cette analyse, les informations nécessaires pour l'applicabilité en pleine terre (application en plein champ ou en grande culture) sont données par exemple pour l'élaboration d'un bilan de fumure et de métaux lourds.

Mais si l'on souhaite élaborer un substrat pour plante, d'autres caractéristiques sont utiles, car la mise en œuvre pratique, c'est-à-dire la proportion dans le substrat est déterminée par la quantité de substances nutritives rapidement disponibles par unité de volume et la texture. Ces valeurs doivent être fournies par un laboratoire compétent. Le laboratoire devrait également pouvoir fournir un conseil quant aux mélanges possibles (quelle quantité de compost avec quels composants) pour fabriquer un terreau de plantation qui réponde aux exigences des cultures. Le laboratoire de l'entreprise Hauert dispose de cette expérience autant dans le domaine de l'analyse que dans le domaine des applications et utilisations possibles dans le domaine horticole.

Stériliser le compost?

Le compost qui a subi la phase de chaleur durant le processus de décomposition ne doit pas être stérilisé car il perdrait sa faculté de défense contre les maladies. Cependant, les composts de jardin contenant de fortes proportions de terre et de substrat n'atteignent souvent pas les températures nécessaires. Dans ce cas, il est raisonnable de stériliser le produit final et ensuite d'inoculer celui-ci avec 10% d'un compost de qualité, cela pour obtenir une colonisation microbiologique optimale.

Recommandation de dosage pour un compost mûr

Culture	Quantité de compost	Fumure complémentaire au printemps pour 6 m² (env. surface moyenne d'une plate-bande)
Légumes grands consommateurs	3 – 4 l par m² et année	Env. 3 pots de yoghourt de poudre de corne ou 6 pots de yoghourt d'engrais pour jardin pauvre ou sans phosphore (par ex. „Organos Hauert Biorga" ou „Hauert Bonheur du jardin").
Légumes moyens consommateurs	2 – 3 l par m² et année	Env. 2 pots de yoghourt de poudre de corne ou 4 pots de yoghourt d'engrais pour jardin pauvre ou sans phosphore (par ex. „Organos Hauert Biorga" ou „Hauert Bonheur du jardin").
Légumes faibles consommateurs	1 – 2 l par m² et année	Env. 1 pot de yoghourt de poudre de corne ou 2 pots de yoghourt d'engrais pour jardin pauvre ou sans phosphore (par ex. „Organos Hauert Biorga" ou „Hauert Bonheur du jardin").
Arbres fruitiers, arbustes, vigne	1 – 3 l par m² et année	Env. 30 – 40 g de poudre de corne ou raclures de corne.
Plates-bandes de fleurs	2 – 3 l par m² et année	Env. 30 – 40 g d'engrais de jardin pauvre ou sans en phosphore (par ex. „Organos Hauert Biorga" ou „Hauert Bonheur du jardin").
Baies	2 – 3 l par m² et année	Env. 40 – 50 g de poudre de corne ou raclures de corne.

12 Mesures de correction du pH et de la dureté de l'eau

Chaulage des sols

A des valeurs de pH bas, beaucoup de plantes ne croissent plus de manière optimale dans un sol minéral. Une carence en calcium, souvent doublé d'une carence en magnésium peuvent alors apparaître simultanément. Le tableau suivant donne les valeurs indicatives pour le chaulage (chaulage améliorateur avant la plantation) des surfaces horticoles et des surfaces de pépinière de pleine terre.

Les cultures ayant des exigences de pH particulières sont exclues de ce schéma. Pour les cultures appréciant des sols avec un pH acide (plantes calcifuges), les réserves en calcium et en magnésium devraient être déterminées à l'aide d'une analyse. Si nécessaire on apportera des engrais contenant du calcium et du magnésium sans effet basique.

Quantité de calcium sous forme de carbonate de calcium ($CaCO_3$)[1] en kg/ha

pH	Sols légers, sableux	Sols argileux, moyennement lourds [2]	sols argileux lourds [2]
< 5,3	3500	5500	6000
5,4 – 5,8	2500	4500	5500
5,9 – 6,3	1500	3500	4500

[1] 100 kg de carbonate de calcium équivalent à 56 kg de CaO.
[2] Les quantités supérieures à 3500 kg/ha sont à répartir en 2 applications sur 2 ans.

Ajustage et contrôle des valeurs de pH dans les substrats à base de tourbe

Les manières les plus courantes de régler le pH d'un substrat sont le chaulage, le contrôle de la dureté de l'eau ainsi que le choix des engrais adéquats.

Là où les caractéristiques de la tourbe et du calcium peuvent varier, un échantillon doit être analysé pour contrôler son pH.

Culture	Dureté de l'eau d'arrosage	Chaulage du substrat, enrichi de tourbe blonde pure, pH 3,8 - 4	Fertilisation liquide
Cultures appréciant l'acidité, pH optimum de 4 – 5	Eau de pluie, Eau douce jusqu'à 15 °fH ou 8 °dH	1 kg de Carbonate de calcium (poudre) par m^3	Fumure physiologique acide, par exemple avec „Ferty 1 Spécial Hauert" 18+6+12
Cultures avec un pH optimal de 5 - 6	Eau de pluie, eau douce	3 - 4 kg de Carbonate de calcium (poudre) et 2 – 3 kg Carbonate de chaux granulé par m^3	Fumure physiologique acide, par exemple avec „Ferty 1 Spécial Hauert" 18+6+12
	Eau moyennement dure 15 – 25 °fH ou 8 – 14 °dH	3 - 4 kg de Carbonate de calcium (poudre) et 1 – 2 kg Carbonate de chaux granulé par m^3	
	Eau dure Plus de 25 °fH ou 14 °dH	3 kg de Carbonate de calcium (poudre) par m^3	
Cultures avec un pH optimal de 6 – 7,5	Eau de pluie, eau douce	4 - 5 kg de Carbonate de calcium (poudre) et 3 – 4 kg Carbonate de chaux granulé par m^3	Fertilisation complémentaire basique dans les cas extrêmes
	Eau moyennement dure, eau dure	4 - 5 kg de Carbonate de calcium (poudre) et 1 – 2 kg Carbonate de chaux granulé par m^3	Fumure neutre à légèrement acide

Abaissement du pH dans le sol/substrat

Le pH peut être abaissé par l'apport de tourbe ou de soufre élémentaire („Hauert Soufre granulé"). Le soufre élémentaire est transformé par les microorganismes du sol. Ce brassage conduit à l'abaissement du pH. Selon le pouvoir tampon du sol, la transformation est plus ou moins forte. Ce processus suppose un sol/substrat biologiquement actif et une bonne aération. A une température approchant 20°C, le minimum est atteint selon la quantité de soufre introduit en 6 à 10 semaines.

Règle général pour la „neutralisation calcaire":
Avec 1 kg de soufre élémentaire, on peut neutraliser 3,2 kg de chaux.

Dans un sol naturel

L'apport de sulfate augmente la salinité du sol. Le soufre élémentaire doit par conséquent être apporté en petites portions. Le soufre élémentaire est idéalement mélangé au sol à une profondeur de 20 cm.

Soufre élémentaire pour diminuer le pH d'environ 0,5 unité, pour un enfouissement de 20 cm avec „Hauert Soufre granulé"

Apporter la deuxième fois environ 2 – 3 mois après le premier apport, mais mesurez préalablement le pH!

Type de sol	Sol sableux		Sol argileux	
Teneur en chaux	Pauvre en calcaire	Modérément calcaire	Pauvre en calcaire	Modérément calcaire
Quantité de souffre (g/m^2)	2 x 60	2 x 120	2 x 85	2 x 135

Dans le substrat de culture

L'apport de soufre élémentaire doit être programmé avec attention.

Dans un substrat à faible pouvoir tampon (par ex. à base de tourbe ou succédané de tourbe) ou dans des substrats à base de compost mais sans calcaire, le pH diminue avec 1 kg de soufre/m^3 jusqu'à 0,7 unité. Parallèlement, la salinité augmente durant une période 8 à 12 semaines d'environ 0,5 jusqu'à 0,8 mS/cm (volume d'extraction 1:1,5).

Règle générale

Avec 1 kg de soufre élémentaire par m^3 de substrat, le pH est abaissée d'environ 0,4 à 0,7 unité.

Attention aux substrats à faible pouvoir tampon

Dans les substrats à faible pouvoir tampon (par ex. à base de tourbe ou succédané de tourbe) ou dans des substrats à base de compost mais sans calcaire, la salinité augmente rapidement (en 8 à 12 semaines d'environ 0,5 jusqu'à 0,8 mS/cm (volume d'extraction 1:1,5).

Attention au manganèse

Dans les substrats contenant du compost, les réserves en manganèse sont relativement élevées. Une diminution du pH conduit à une libération considérable de manganèse sous une forme facilement assimilable pour les plantes. Cela peut perturber le prélèvement du fer.

L'utilisation d'eau dure pour l'arrosage cause une augmentation du pH dans les substrats.

Par un apport complémentaire de soufre, peu avant l'utilisation du substrat, cet effet peut être compensé. De longues périodes d'entreposage des substrats peuvent conduire à des abaissements de pH en-dessous des valeurs tolérées (car l'arrosage avec de l'eau dure ne se fait pas). C'est la raison pour laquelle le soufre ne doit être apporté, pour abaissé le pH, que peu de temps avant l'utilisation du terreau.

Besoin en soufre (g/m^3)

Indication en unités de dureté française: 1,6 x durée de la culture en semaines x °fH = g de soufre/m^3

Indication en unités de dureté allemande: 2,7 x durée de la culture en semaines x °dH = g de soufre/m^3

Ceci est valable dans les conditions suivantes:

- Substrat moyen (30 % de compost, peu de terre agricole, 30 % de tourbe et env. 40 % de succédané de tourbe),
- Durée de culture jusqu'à 20 semaines.

Il s'agit de valeurs indicatives. Il est fortement recommandé d'effectuer durant toute la durée de la culture un test préliminaire avec plusieurs niveaux de soufre!

L'adoucissement de l'eau

La dureté générale de l'eau n'a pas d'importance pour les plantes, seul le niveau de calcaire de l'eau (une partie de la dureté totale) doit être réduit. Des procédés coûteux, comme l'adoucissement par l'échange d'ions ou une installation de désalinisation ôtent certes le sel de l'eau mais également le calcium utile pour l'alimentation des plantes.

Dans les régions avec une eau salée, une installation de désalinisation est nécessaire. En Suisse et en Allemagne, la qualité de l'eau du réseau est si bonne que cela n'est pas utile.

Lors du processus d'adoucissement, sur la base d'échangeurs comme on en trouve justement dans les installations des grands bâtiments, il faut faire particulièrement attention à ce que le calcium ne se transforme pas en un élément indésirable comme le sodium (sel). Ceci est particulièrement important pour l'hydroculture.

Détails au sujet de la dureté de l'eau

La dureté carbonatée correspond à la teneur en carbonate de calcium (et magnésium), lequel est présent sous forme de bicarbonate (HCO_3^-). Lors de la cuisson, l'acide carbonique est éliminé de l'eau et le reste du carbonate d'hydrogène précipité à nouveau sous forme de chaux. C'est la raison pour laquelle la dureté carbonatée est parfois appelée „dureté temporaire". —> **Voir aussi le chapitre 5 „Eau, dureté de l'eau"**

Adoucissement par la cuisson

Bicarbonate de calcium dissous dans l'eau

Dioxyde de carbone (s'échappe sous forme de gaz)

Carbonate de calcium (tartre)

Eau

Adoucissement avec des acides (par ex. acide phosphorique)

Bicarbonate de calcium dissous dans l'eau

Acide phosphorique

Dioxyde de carbone (s'échappe sous forme de gaz)

Superphosphate (reste soluble dans l'eau)

Pas d'adoucissement en-dessous de 10 °fH

La dureté ne doit pas tomber en-dessous de 10°fH (5°dH).

Le pH de l'eau adoucie doit rester supérieur à 5,5, dans le cas contraire un risque de chute de pH existe. L'eau d'arrosage adoucie jusqu'à 10°fH, doit par la suite être enrichie de nitrate car la capacité tampon de l'eau n'amortit plus l'effet acidifiant du nitrate d'ammonium.

Attention lors des manipulations!

La manipulation d'acides forts nécessite absolument un équipement de protection (lunettes de protection, etc.). Respecter les prescriptions légales!

Adoucissement avec des agents chimiques

	Quantité (g/m³ ou ml/m³)		Quantité (g/m³ ou ml/m³) selon … degré de dureté								Avertissement
	°fH	°dH	°fH °dH	10 5	15 8	20 11	25 14	30 17	35 20	40 22	
Apport d'acide avec une pompe doseuse											
Acide nitrique 62 %	14,6	26,1		0	73	146	219	293	365	438	Apport d'azote, manipulation dangereuse.
Acide phosphorique 75 %	18,2	32,5		0	91	182	La concentration en P de la solution nutritive devient trop élevée				Utilisation limitée en raison de la concentration de P; manipulation dangereuse.
„Hauert Aqua-Balance"	20	33		0	100	200	300	400	500		Acide organique.
Adoucissement dans un bassin											
Acide sulfurique 97 %	5,5	9,8		0	28	55	83	110	138	165	sulfate de calcium comme ballast (cause éventuellement des taches foliaires); manipulation dangereuse.
Oxalate d'ammonium	7,1	12,7		0	31	71	106	142	178	213	Précipitation en bassin, élimination de 50 % de calcium et 50 % d'adoucissement par le NH_4-N, ne cause pas de taches foliaires.
Acide oxalique	12,6	22,5		0	63	126	189	252	315	378	Précipitation en bassin, élimination de calcium, temps de dépôt 2–3 heures; ne provoque pas de taches foliaires.
Abaissement du pH dans la zone racinaire											
Azote ammoniacal (g N/m³)	2,8	5,0		0	14	28	42	56	70	84	Peu de risque, physiologiquement optimal pour les plantes; réagit très lentement; agit dans la zone des racines.

L'adoucissement de l'eau apporte également des éléments nutritifs (Quantité en g/m³, dosage selon le tableau de gauche)

Adoucissant	Elément nutritif	Quantité (g/m³ ou ml/m³) selon … degré de dureté							
		°fH °dH	10 5	15 8	20 11	25 14	30 17	35 20	40 22
Acide nitrique 62 %	N		0	14	28	42	56	70	84
Acide phosphorique 75 %	P		0	33	65	La concentration en P de la solution nutritive devient trop élevée.			
Acide sulfurique 97 %	S		0	16	32	48	64	80	96
Oxalate d'ammonium	N		0	7	14	21	28	35	42
Azote ammoniacal	N		0	14	28	42	56	70	84

Procédés d'adoucissement physiques

L'application de champs magnétiques peut avoir une influence sur la cristallisation du calcaire. Ce processus est mis en œuvre avec succès dans la pratique car il ne modifie pas la dureté de l'eau mais influence la forme des précipités, ainsi, les sédiments sont nettement réduits. Avant de mettre en place une telle installation, il faut s'assurer que l'efficacité de l'utilisation prévue ait été examinée dans la pratique afin qu'effectivement, les taches foliaires, les dépôts dans les gouttoirs et l'élévation du pH du substrat soient évités.

Annexe

Schéma de diagnostic en cas d'apparition de carence

Symptômes pour l'ensemble des plantes, localisa-tion par ex. sur les feuilles âgées			
Croissance clairement affaiblie; nécroses et dessèchements. plantes petites, chétives	Feuilles vert clair à vert jaune. La décoloration débute à la pointe des feuilles. Après jaunissement de toute la feuille, elle commence à sécher. Tiges courtes et fines. Attention: chez les crucifères, les feuilles se colorent et rouge.		Azote (voir page 37)
	Plantes gris sombre à bleu gris. Souvent, tiges, pétioles et nervures rouges à pourpres. Dessous des feuilles partiellement desséché, jaune, rouge, brun. Tiges courtes et fines.		Phosphore (voir page 38)
Symptômes princi-palement localisés; formation de taches chlorotiques avec ou sans nécroses, c'est-à-dire, zones mortes à la base des feuilles. Avec ou sans base de feuilles mortes	**Graminées:** chloroses perlées le long des nervures des vieilles feuilles. Les chloroses deviennent ensuite des nécroses. Début à la pointe des feuilles. **Dicotylédones:** chloroses jaune verte à jaunes le long des nervures. Nervures avec de larges bords verts. Bords de feuilles encore souvent verts. Pointes et bords cintrés vers le haut. Tiges souvent minces. **Conifères:** aiguilles jaunes		Magnésium (voir page 39)
	Flétrissement: pigmentation blanche à brun blanc le long des bords des feuilles, sinon la plupart du temps de la pointe des feuilles au bord des feuilles chlorose avec apparition de nécroses, brunes, gris brun, rouge brun jusqu'à brun foncé; ensuite, prenant toute la surface. Souvent mort des feuilles âgées. **Conifères:** coloration rouge à rouge brun des aiguilles.		Potasse (voir page 38)

Extrémités des feuilles, feuilles jeunes à moyen-nement jeunes, mort partielle des points de végétation. Symptômes généralement localisés.			
Le bourgeon terminal croît encore, les feuilles jeunes à moyennement jeunes flétrissent, avec des chloroses et nécroses.	Feuilles vert olive, plus tard, chlorose répartie sur l'ensemble de la feuille. Chloroses d'abord en points se reliant par la suite, devenant nécrotiques. **Graminées:** Nécroses en stries jusqu'en taches, principalement en taches brun gris avec en partie des pourtours foncés. Pliure des limbes. **Dicotylédones:** nécroses en mosaïques ou réseau de points entre les nervures. Les nécroses se perfo-rent plus tard. Nervure principale avec des bourrelets verts. Faible développement racinaire.		Manganèse (voir page 40)
	Les plus jeunes feuilles présentent des chloroses, la plupart du temps sans nécroses ; les nervures sont soit vert clair soit vert fon-cé. Les nervures sont également en partie chlorotiques.	Limbes vert jaune, ensuite jaune citron jusqu'à blanc jaune. Nervure principale toutefois verte, fortement limitée. En cas de forte carence, les nervures sont chlorotiques et nécroses brunes sur la feuille.	Fer (voir page 40)
		Feuilles y compris la nervure principale vert clair jusqu'à vert jaune et jaune. Nervure de feuille souvent plus claires que le limbe. Plante chétive comme pour la carence en azote. Pousse courte et tendre. En cas de forte carence, tons rougeâtres à pourpres jusqu'à violets, particuli-èrement sur les nervures.	Soufre (voir page 39)
		Graminées: les feuilles semblent flétries et meurent la plupart du temps avec une coloration blanche, rouleaux, c'est-à-dire torsions et pliures. Tallage fort des plantes qui restent vertes à la base. **Dicotylédones:** jeunes feuilles flétries et en partie difformes. Limbe entre les nervures vert clair avec des nécroses blanc jaune à brun jaune. Inflorescences déformées, dessèchement et dépouillement des rameaux. **Conifères:** Torsion en spirale des aiguilles terminales et déformations des branches et pousses des extrémités.	Cuivre (voir page 41)
Après l'apparition des déformations sur les jeunes feuilles, commençant de la pointe ou point d'attache. Mort des bourgeons termi-naux („cœur"). Nécrose des bords et limbes des feuilles.	Jeunes feuilles des pointes de tiges pliées en crosses, c'est-à-dire griffes. Dessèchement et déchirure du limbe commençant par les pointes; bords se colorant en clair jusqu'à vert blanc, en partie aussi gris brun. Les tiges plient sous les feuilles et les pointes des tiges. Pourriture sèche chez les fruits. Pommes liégeuses. Nécroses des bords de feuilles et limbes chez les légumes (salade)		Calcium (voir page 38)
	Epaississement et coloration jaune clair des bourgeons terminaux („cœur"). Feuilles déformées, mal formées, tordues et rabougries. Souvent épaississement, rigidité et fragilité. Entre-nœuds raccourcis, pousses réprimées. Les bourgeons terminaux et les points de croissance meurent en devenant bruns et noirs et pourriture sèche. Tiges et souches creuses. Chez les fruitiers: flétrissement des fleurs, formation de balais, gravelle des poires.		Bore (voir page 39)

Schéma de diagnostic en cas d'apparition de carence

Symptômes sur feuilles jeunes et/ou âgées et organes selon l'espèce et le moment d'apparition.	
Légumineuses: symptôme, comme vous les rencontrez chez les autres familles de plantes en cas de carence en N. Feuilles chez les autres plantes de culture: **Espèces de choux:** limbe coloré en vert gris jusqu'à vert bleu. Marbrures, feuilles enroulées dans les bords, ondulées, frisées avec un limbe réduit. La nervure centrale croît souvent seule et avec peu ou sans limbe („**maladie du manche de fouet**"). Le point de végétation meurt et les feuilles de cœur se tordent („**maladie sans-cœur des choux).**	Molybdène
Taches chlorotiques grossissant rapidement avec de petites ou plus grandes zones mortes (claires jusqu'à blanches). Bords verts le long des nervures, se répandant des feuilles âgées jusqu'à l'ensemble de la plante, en général limitées aux surfaces entre les nervures. Jeunes feuilles souvent épaisses, cassantes et très petites. Pousses à l'aspect nain (**nanisme**) avec des feuilles en toupets (formation de rosettes).	Zinc (voir page 41)

Carence vraisemblablement lorsque le pH du sol est

- plutôt bas
- plutôt haut
- pH sans importance (il peut se situer entre de 5,5 à 8)

(Source: Zorn et al. 2007; modifiée)

Facteurs de conversion pour différentes formes d'éléments nutritifs

Voulu		Facteur	Recherché	
P	Phosphore	2,291	P_2O_5	Phosphate
P_2O_5	Phosphate	0,436	P	Phosphore
K	Potasse	1,205	K_2O	Oxyde de potasse
K_2O	Oxyde de potasse	0,830	K	Potasse
Ca	Calcium	2,497	$CaCO_3$	Carbonate de calcium
Ca	Calcium	1,399	CaO	Chaux vive – Oxyde de calcium
CaO	Chaux vive – Oxyde de calcium	0,715	Ca	Calcium
CaO	Chaux vive – Oxyde de calcium	1,785	$CaCO_3$	Carbonate de calcium
$CaCO_3$	Carbonate de calcium	0,400	Ca	Calcium
$CaCO_3$	Carbonate de calcium	0,561	CaO	Chaux vive – Oxyde de calcium
Mg	Magnésium	1,658	MgO	Oxyde de magnésium - Magnésie
MgO	Oxyde de magnésium - Magnésie	0,603	Mg	Magnésium
S	Soufre	2,995	SO_4	Trioxyde de soufre - Sulfite
S	Soufre	2,498	SO_3	Trioxyde de soufre - Sulfite
SO_4	Sulfate	0,334	S	Soufre
SO_3	Trioxyde de soufre - Sulfite	0,401	S	Soufre

Classification du niveau de fumure pour les gazons

Chaque critère (1-8) doit être évalué:		Niveau de fumure - points	
1	**Type d'utilisation**		
	Gazon extensif	8	
	Gazon ornemental	12	
	Terrain d'entraînement/terrain scolaire	12	
	Terrain de sport	15	
	Terrain de golf	20	
2	**Sol / Réalisation**		
	Construction conventionnelle (humus en couche supérieure / pelouse ornementale)	0	
	Couche supérieure améliorée et couche filtrante	1	
	Couche portante / Sable avec couche de drainage	3	
3	**Substances organiques / Couleur**		
	Humus / sombre / brun foncé (> 5%)	0	
	Moyen (3 – 5%)	2	
	Pauvre en humus / clair / jaunâtre (< 3%)	3	
4	**Charge**		
	Faible = durée de jeu jusqu'à 15h/sem. et terrain	0	
	Moyenne = durée de jeu jusqu'à 15 - 25h/sem. et terrain	3	
	Haute = durée de jeu supérieure à 25h/sem. et terrain	4	
5	**Durée de la saison**		
	Saison de jeu jusqu'à 7 mois	0	
	Saison de jeu plus longue que 7 mois	3	
6	**Déchets de coupe**		
	Les déchets restent sur place	0	
	Les déchets sont pour la plupart ramassés	5	
7	**Présence de mauvaises herbes**		
	Normale	0	
	Elevée	2	
	Haute / Importante	4	
8	**Age de l'installation**		
	Plus de 3 ans	0	
	En-dessous de 3 ans	3	
Total des points			

Maximum de points à attribuer pour (limitation):		Points: tenir compte de la limitation
Gazon extensif	15	
Gazon ornemental	20	
Terrain d'entraînement / terrain scolaire	30	
Terrain de sport	35	
Terrain de golf	35	

Calcul des besoins en éléments nutritifs

Elément nutritif	Proportion de l'élément nutritif		Facteur de correction *)		Points **)		Fumure (g/élément nutritif par m^2)
N	1	x	1	x		=	
P_2O_5	0,3	x	1	x		=	
K_2O	0,6	x	1	x		=	
Mg	0,1	x	1	x		=	

*) d'après analyses de sol si elles existent. Sinon prendre le facteur 1

**) Somme des évaluations 1 – 8, le cas échéant, limitation selon le type d'utilisation

introduire la valeur

reporter la valeur

Schéma d'interprétation des analyses nutritives d'un sol minéral

(Extrait à l'eau – Méthode 1 : 2 volumes)

Sol de pleine terre						
Analyse	Unité	Niveau d'approvisionnement				
		A = bas	B = moyen	C = normal	D = haut	E = très haut
N (NO3 + NH4)	µmol/litre *)	< 100	100 - 250	250 - 750	750 - 2'200	> 2'200
P	µmol/litre *)	< 5	5 - 10	10 - 30	30 - 60	> 60
K	µmol/litre *)	< 50	50 - 100	100 - 300	300 - 600	> 600
Mg	µmol/litre *)	< 50	50 - 100	100 - 300	300 - 600	> 600
Ca	µmol/litre *)	< 150	150 - 300	300 - 600	600 - 1'200	> 1'200
Salinité	µS/cm	< 50	50 - 100	100 - 300	300 - 400	> 400
Humus	% TS	< 2.5	2.5 - 3.5	3.5 - 5.0	5.0 - 7.5	> 7.5
pH (eau)		< 5.5	5.5 - 6.5	6.5 - 7.5	7.5 - 8.0	> 8.0

Sol de serre						
Analyse	Unité	Niveau d'approvisionnement				
		A = bas	B = moyen	C = normal	D = haut	E = très haut
N (NO3 + NH4)	µmol/litre *)	< 250	250 - 750	750 - 2'200	2'200 - 4'400	> 4'400
P	µmol/litre *)	< 10	10 - 30	30 - 70	70 - 140	> 140
K	µmol/litre *)	< 100	100 - 300	300 - 800	800 - 1'600	> 1'600
Mg	µmol/litre *)	< 100	100 - 300	300 - 600	600 - 1'200	> 1'200
Ca	µmol/litre *)	< 300	300 - 600	600 - 1'200	1'200 - 4'800	> 4'800
Salinité	µS/cm	< 150	150 - 300	300 - 600	600 - 1'200	> 1'200
Humus	% TS	< 4.0	4.0 -6.0	6.0 - 12.0	12.0 - 15.0	> 15.0
pH (eau)		< 5.5	5.5 - 6.5	6.5 - 7.5	7.5 - 8.0	> 8.0

Réserves en éléments nutritifs (extraction du poids 1 : 10 acétate d'ammonium-EDTA)

Sols moyens avec 5 % d'humus (pleine terre et serre)						
Analyse	Unité	Niveau d'approvisionnement				
		A = bas	B = moyen	C = normal	D = haut	E = très haut
P	mg/kg TS	< 10	10 - 40	40 - 80	80 - 120	> 120
K	mg/kg TS	< 40	40 - 80	80 - 200	200 - 400	> 400
Mg	mg/kg TS	< 50	50 - 100	100 - 200	200 - 400	> 400
Ca	mg/kg TS	< 1'000	1'000 - 2'000	2'000 - 20'000	20'000 - 40'000	> 40'000

*) litre de solution d'extraction

Si une valeur du tableau est exactement atteinte, la valeur d'approvisionnement supérieure fait foi.

Bibliographie

Bibliographie:

Amberger, A., 1988	Pflanzenernährung	Verlag Eugen Ulmer Stuttgart
anonym, 2012	Handbuch Beeren	Fruit-Union Suisse, Zug
anonym	Symptome von Nährstoffmangel	Kali AG Frauenkappelen
Bergmann, W., 1988	Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen	Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York
Buchner, A. et al., 1980	Gezielter düngen	DLG-Verlags-GmbH Frankfurt
Datnoff, E.D. et al., 2007	Mineral nutrition and plant disease	The American Phytopathological Society St. Paul, Minnesota U.S.A.
Doorenbos, J. et al., 1986	Yield response to water	FAO Rom
Doorenbos, J. et al., 1986	Crop water requirements	FAO Rom
Evers, G., 1998	Düngelexikon für den Gartenbau	Thalacker Medien Braunschweig
Finck, A., 1979	Dünger und Düngung	Verlag Chemie, Weinheim, New York
Fischer, P.; Anneser, K., 2003	ERNESTO, Bildgestützte Diagnose von Ernährungsstörungen bei Topfpflanzen.	Source FH Weihenstephan, Freising (D)
Flisch R. et al., 2009	Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau	Agroscope ACW Wädenswil-Changings et ART Zürich
Gysi, Ch.; Ryser, J.-P.; Heller, W. und Arbeitsgruppe Bodenuntersuchung in Spezialkulturen, 1993:	Bodenuntersuchung im Obst-, Wein- und Gartenbau	Flugschrift Nr. 129, Station Fédérale de Recherches Wädenswil
Gysi, Ch.; Ryser, J.-P.; Heller, W., 1997:	Bodenuntersuchung im Gemüsebau	Flugschrift Nr. 112, Station Fédérale de Recherches Wädenswil
Gysi, Ch.; von Allmen, F.; Heller, W.; Poffet, J. und Wegmüller, H.P.; 1995	Substratuntersuchung für den Zierpflanzenbau	Flugschrift Nr. 113, Station Fédérale de Recherches Wädenswil
Hess, J. et Mayer, J.	Biologischer Landbau als Lösung des Stickstoffproblems	Schriftenreihe der FAL 43
Jansen, H.; Bachthaler, E.; Fölster, E. et Scharpf, H.-C., 1984	Gärtnerischer Pflanzenbau	Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
Koller, M. et al., 2005	Herstellung und Einsatz komposthaltiger Pflanzsubstrate	FiBL Frick, Universität Kassel (FÖL) Witzenhausen, Instiut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Grossbeeren
Labowsky, H.-J. 1994	Bewässerung im Gartenbau	KTBL Darmstadt
Liebgard, J. et Hendriks, L., 1990	Düngung im Zierpflanzenbau, Taspo Praxis 16	Verlag Bernhard Thalacker, Braunschweig
Liebgard, J. et Molitor, H.-D., 1990	Geschlossene Kulturverfahren - Zierpflanzenbau, Taspo Praxis 18	Verlag Bernhard Thalacker, Braunschweig
Lutz, M. et Gysi, Ch., 1995	Nährstoffexport von Topfpflanzen – eine Erhebung in vier Produktionsbetrieben	Gartenbauwissenschaften 60, 49–57
Mäder, P. et Koller, M., 2006	Bodenuntersuchungen für Biobetriebe	FiBL Frick
Neuweiler, R. et al. 2008	Handbuch Gemüse	Union maraîchère suisse, Berne
Röber, R. et Schaller, K., 1985	Pflanzenernährung im Gartenbau	Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
Scheffer, F.; Schachtschabel, P.; Blume, H-P., Hartge, K.-H. et Schwertmann, U., 1984	Lehrbuch der Bodenkunde	Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
Spring, J.-L. et al., 2003	Grundlagen für die Düngung der Reben	RAC Changins/ FAW Wädenswil

Stahr, K. et al.	Bodenkunde und Standortlehre	Verlag Eugen Ulmer Stuttgart
Trenkel, M., 1997	Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture	International Fertilizer Industry Association Paris
Trott, H. et al., 2007	Mikronährstoffe in der Landwirtschaft und im Gartenbau	Bundearbeitskreis Düngung Frankfurt am Main
Wegmüller, H.P. et al., 2004	Das Wichtigste zur Düngung, 6. Ausgabe	Engrais Hauert HBG SA, AG, Grossaffoltern
Wegmüller, H.P. et Gysi, Ch., 1993	Düngung in der Freilandbaumschule	Flugschrift Nr. 131, Station Fédérale de Recherches Wädenswil
Wegmüller, H.P., 1998	Rasen richtig pflegen und düngen	Engrais Hauert HBG SA, AG, Grossaffoltern
Wegmüller, H.P., 2001	Zwölf Jahre Lysimeterversuche in Suberg	Engrais Hauert HBG SA, AG, Grossaffoltern
Zorn, W. et al., 2007	Handbuch zur visuellen Diagnose von Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen	Elsevier GmbH München

Sources des images:

Page 18	Hauert Greta Hoffman, Pexels Mosterkoi, Pixabay LMoonlight, Pixabay
Page 23	hoozone, iStock
Page 26:	Koller, Martin, FiBL Frick Lichtenhahn, Martin, FiBL Frick Vieweger, Anja, FiBL Frick
Page 27	Ricoter Préparation de Terres SA
Pages 37 – 41:	origines et sources, voir directement au niveau des images. Pour une meilleure démonstration des phénomènes de carences, les images ont été en partie corrigé graphiquement.
Pages 76	MarcusPhotography, iStock
Pages 57, 68, 96 – 98:	Hauert, SWISS GREEN

À propos de Hauert

Des engrais de qualité depuis douze générations

Les racines de l'entreprise Hauert sont en Suisse. C'est dans le petit village de Grossaffoltern, près de Berne, que se trouve le siège de Hauert HBG Dünger AG. Fondée en 1663, l'entreprise familiale est aujourd'hui dirigée par Philipp Hauert, qui est le représentant de la douzième génération. Dans l'usine située au siège de l'entreprise, des engrais destinés aux professionnels et aux jardins familiaux sont produits et commercialisés avec un savoir-faire de longue date. Depuis longtemps, Hauert est le leader du marché suisse dans ce segment.

La qualité suisse pour le jardin

Depuis des années, Hauert mise sur des engrais respectueux de l'environnement. L'accent est toujours mis sur la nutrition durable des plantes. L'assortiment couvre un large domaine d'application dans l'horticulture et l'aménagement paysager :

- Engrais pour le jardin familial.
- Engrais à usage professionnel (horticulture productrice, paysagistes, pépinières).
- Engrais pour l'agriculture biologique et solutions spécifiques pour les cultures spéciales.

Aussi en Allemagne et en Autriche

Depuis 2007, Hauert est également présent sur les marchés allemand et autrichien avec une filiale, l'ancienne Günther Cornufera Düngerwerke, basée à Nuremberg. En 2018, celle-ci a repris les usines d'engrais MANNA riches en traditions et leur production à Ammerbuch, en Souabe. Depuis lors, l'entreprise opère sous le nom de **Hauert MANNA Düngerwerke GmbH**.

L'innovation par la recherche et le développement

Hauert investit continuellement dans la recherche et le développement ainsi que dans la technologie des procédés et de la production. C'est la seule façon de garantir un succès constant. Le procédé Sphero, par exemple, est un développement révolutionnaire qui permet également d'intégrer des matières organiques dans des granulés de qualité optimale, non pulvérulents.

Qualité et sécurité maximales

La société Hauert est très exigeante envers elle-même et envers la qualité de ses produits. Toutes les matières premières et tous les produits finis sont contrôlés dans le laboratoire de l'entreprise sur tous les critères importants pour la fertilisation. Une qualité et une traçabilité constantes sont garanties de bout en bout. Depuis 1997, l'entreprise est certifiée ISO-9001.

Production et logistique locales

Un grand nombre de produits sont fabriqués en Suisse. L'usine du siège de l'entreprise dispose d'installations de production et de remplissage adaptées à toutes les combinaisons de matières premières ainsi que d'une grande diversité de types d'emballages pour les grandes et les petites séries. Depuis 2022, l'usine d'Ammerbuch (D) produit principalement les engrais organiques.

Les centres logistiques de l'entreprise disposent d'entrepôts à hauts rayonnages avec plus de 10 000 emplacements pour palettes. Les fortes variations saisonnières du commerce des engrais peuvent donc être gérées de manière optimale. Ainsi, même en période de pointe, la sécurité de livraison est garantie sur toute l'amplitude de l'assortiment, soit environ 1000 articles.

Nos technologies

À chaque engrais, le processus adapté. Pour répondre aux multiples exigences en matière de taille de granulés et de qualité, Hauert a développé cinq technologies pour la transformation des engrais :

- le compacteur et les Granutec pour les engrais minéraux
- la pelletisation et le site Sphero pour les engrais organiques et minéraux organiques
- les granulés spécialement enrobés comme engrais longue durée

Granulés Granutec

Granulés d'engrais minéral de haute qualité produits selon un nouveau processus d'une grande modernité. Les granulés ronds et compacts contiennent tous exactement la même composition et fournissent chaque plante en nutriments de façon homogène. Les granulés offrent un excellent ruissellement et s'épandent sans dégager de poussière.

Granulés Sphero

Avec ses granulés Sphero, Hauert a développé un procédé unique au monde pour la fabrication d'engrais organiques et organiques minéraux. Les granulés cylindriques sont stables et grâce à leur taille uniforme, ils ruissellent bien et sont aisés à épandre. Au contact de l'humidité du sol, les granulés se défont en minuscules particules et libèrent les nutriments.

Engrais longue durée enrobé

Les engrais longue durée enrobés sont idéals pour fournir des nutriments aux plantes sur une longue période. Grâce à cet enrobage spécifique, nous fabriquons des engrais nourrissant le sol pendant plus d'un an. En fonction de la température, les éléments nutritifs traversent peu à peu l'enrobage qui les contient. Idéal pour les bacs, les pots et les massifs.

Méthylène-urée

Le méthylène-urée (NRf) est un condensat d'urée qui libère son azote par dégradation microbienne sur une période d'environ trois mois. C'est la base de tous nos engrais longue durée minéraux et organo-minéraux non enrobés. Le méthylène-urée est exceptionnellement bien toléré par les plantes, il n'est pas enrobé et se dégrade jusqu'à 100 %.

Produits compactés

Depuis de nombreuses années, nous produisons des produits compactés resp. des granulés fragmentés pour la fabrication d'engrais minéraux et organiques minéraux. Les produits compactés possèdent une taille homogène et sont faciles à épandre.

Pellets

Nous fabriquons des engrais biologiques dans une grande variété de compositions et en qualité pellets. La stabilité et l'homogénéité des pellets sont des facteurs importants pour un épandage régulier et une distance de projection maximale. Les pellets sont disponibles en différentes granulométries, adaptées à chaque type d'application.

Sel nutritif

Nos sels nutritifs sont spécialement conçus pour la fertilisation par arrosage. Les sels finement moulus se dissolvent de façon exceptionnelle évitant ainsi les précipitations. Ils se composent à 100 % de nutriments disponibles pour les plantes dans une forme bien tolérée par celles-ci.

Liquide

Nous composons avec un grand soin nos engrais liquides à partir de tous les éléments nutritifs importants. Outre les nutriments principaux, les engrais liquides fournissent également des oligo-éléments. Les nutriments sont disponibles pour la plante directement après l'arrosage.

À propos de SWISS GREEN

Concepts d'entretien durables et intégrés pour les installations sportives et de golf

Fondée en 1994, la société SWISS GREEN Sportstättenunterhalt AG fait partie du groupe Hauert depuis 2017. Les experts en gazon de SWISS GREEN proposent une large palette de prestations pour une gestion professionnelle et respectueuse des ressources des surfaces en gazon naturel pour le sport, les loisirs et la détente.

- Analyses, conseils et coaching
- Soins et entretien
- Produits de haute qualité
- Technique moderne et efficace
- Recherche et développement

Entretien professionnel des terrains de sport et de loisirs

SWISS GREEN élabore des concepts d'entretien individuels et adaptés au site pour les grandes surfaces en gazon naturel de tous types, comme les stades, les terrains de sport et de golf ainsi que les installations de loisirs. Pour ce faire, les technologies les plus récentes et des produits de grande qualité sont employés. Une équipe qualifiée veille à la vitalité des gazons et garantit le plus grand bénéfice possible pour la clientèle.

La promesse de qualité de SWISS GREEN

SWISS GREEN est synonyme de qualité supérieure et de satisfaction du client. L'offre de conseil et les plans de soins sur mesure reposent sur des services ciblés et des produits de qualité. Des collaborateurs formés en permanence et une technique ciblée sont les pierres angulaires de travaux d'entretien et de rénovation adaptés au site. Grâce à des investissements importants dans la recherche et le développement, l'offre est continuellement développée et élargie.

SWISS GREEN : le partenaire compétent et fiable pour des pelouses naturelles pleines de vitalité.

Hauert seit 1663

Engrais Hauert HBG SA
Dorfstrasse 12
CH-3257 Grossaffoltern
Suisse

Tél. +41 (0)32 389 10 10
Fax +41 (0)32 389 10 14

info@hauert.com
www.hauert.com

manna

Hauert MANNA Düngerwerke GmbH
Hahnenbalz 35
D-90411Nürnberg
Allemagne

Tél. +49 (0) 911 941 18 18 0
Fax +49 (0) 911 941 18 18 1

kontakt@hauert.com
www.hauert-manna.com

SWISS GREEN

SWISS GREEN SA (filiale Suisse romande)
Rte de l'Aérodrome 19
CH-1730 Ecuvillens
Suisse

Tél. +41 (0)79 332 01 34

info@swissgreen.ch
www.swissgreen.ch

L'importance des engrais