

Fumure en cultures maraîchères | Mars 2011



Lignes directrices de fumure en cultures maraîchères

Auteur

Reto Neuweiler

Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW





Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches
Volkswirtschaftsdepartement EVD
Forschungsanstalt
Agroscope Changins-Wädenswil ACW

Mentions légales

Editeur	Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Schloss, Postfach, 8820 Wädenswil, Schweiz Téléphone 044 783 61 11, Fax 044 780 63 41 www.agroscope.ch
Texte	Reto Neuweiler
Rédaction	Reto Neuweiler, Brigitte Baur
Layout	Brigitte Baur
Traduction	Antoine Reist
Collaboration de	Pascal Sigg, ACW; Martin Freund, Martin Keller und René Steiner, INFORAMA Ins; Walter Koch, Fachstelle Gemüse Strickhof; Andreas Wigger, Centre horticole de Lullier; Martin Koller, FiBL; Isabelle Dorand, VSGP; René Flisch, ART; Arbeitsgruppe 3 der Koordinationsgruppe Boden und Düngung (KBD); Schweizerische Arbeitsgruppe für ÖLN im Gemüsebau (SAGÖL);
Photos	Hans-Peter Buser, Jürgen Krauss, Fritz Keller, Jacob Rüegg, ACW
Copyright	Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, L'utilisation même partielle de ce document n'est possible qu'avec l'indication complète de la source d'information.

Sommaire

1. Principes de base et objectifs de la fumure	4
1.1. Réserves minérales du sol	4
1.2. La fumure, mesure complémentaire.....	4
2. Besoins des différentes espèces maraîchères en éléments nutritifs	5
3. Fumure phosphorée, potassique et magnésienne: calcul des quantités d'éléments nutritifs à ajouter	9
3.1. Choix de la méthode d'analyse de terre	9
3.2. Fréquence d'échantillonnage, prélèvement des échantillons.....	9
3.3. Calcul de la fumure sur la base de l'analyse de terre.....	9
3.4. La fumure P, K et Mg dans la pratique	10
4. Fumure azotée : calcul de la quantité d'azote à appliquer.....	11
4.1. Détermination de la fumure azotée par la méthode N_{min}	11
4.2. La fumure azotée tenant compte de l'analyse de la sève des plantes	15
4.3. Optimisation de la fumure azotée	17
5. Bilan des éléments nutritifs selon Suisse-Bilanz.....	18
6. Fumure calcique	19
6.1. Chaulage d'entretien	19
6.2. Amendement calcaire	19
7. Fumure foliaire.....	20
7.1. Macro-éléments.....	20
7.2. Oligo-éléments.....	20
8. Récapitulatif des principaux engrais.....	23
8.1. Engrais de ferme et de déchets	23
8.2. Engrais du commerce	25
9. Bibliographie.....	26

Annexe:

UMS Union maraîchère suisse:

Exigences minimales en matière de fumure pour la production selon les directives PER, SUISSE GARANTIE, Bio- et SwissGAP

1. Principes de base et objectifs de la fumure

La production de légumes de qualité nécessite une alimentation minérale couvrant les besoins des cultures. Sous cet aspect, le sol exerce une importante fonction de réserve. Pourtant, dans la plupart des cas, l'apport d'éléments nutritifs par la fumure s'avère indispensable. L'alimentation minérale correspondant aux besoins des plantes doit concilier la production de récoltes de haute qualité et les exigences économiques et écologiques.

1.1. Réserves minérales du sol

Les réserves minérales du sol peuvent couvrir une partie des besoins des cultures maraîchères. Le potentiel qu'a un sol de fournir les éléments nécessaires dépend principalement du type de sol, de sa teneur en minéraux utiles et de sa teneur de matière organique. Les éléments utiles aux plantes que sont le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg) ainsi que la plupart des oligo-éléments sont liés en grande partie à des minéraux argileux, à des oxydes de fer et à des particules organiques. C'est pourquoi le danger de leur lessivage est nettement plus réduit que pour l'azote minéral (N) et le soufre (S) qui se trouvent dans le sol principalement sous forme de nitrates, respectivement de sulfates libres en solution. L'azote et le soufre sont libérés lors de la minéralisation de la matière organique du sol. Cela vaut aussi pour le phosphore, dans une mesure variable selon le type de sol.

1.2. La fumure, mesure complémentaire

L'objectif principal de la fumure est d'assurer un approvisionnement minéral équilibré, condition de base à la production de récoltes optimales en quantité et en qualité. La fumure doit être conçue pour approvisionner au mieux la plante cultivée sans que le sol soit excessivement enrichi ni appauvri en éléments nutritifs. L'équilibre minéral du sol ne peut être préservé que par une fumure adéquate. Les analyses de terre, qui permettent de déterminer les quantités d'éléments nutritifs assimilables par les plantes, sont un instrument important d'une stratégie de la fumure. Elles contribuent à éviter autant que possible les pertes d'éléments nutritifs par lessivage, par érosion ou par ruissellement dans les eaux de surface.



Dans les sols riches en matière organique, des quantités importantes d'azote sont libérées par minéralisation.



Une carence de potassium peut se produire dans des cultures exigeantes sur des champs insuffisamment alimentés en K durant des années. Lorsque les racines d'endive ont été cultivées sur des champs pauvres en K, le forçage donne des chicons lâches et souvent invendables.

2. Besoins des différentes espèces maraîchères en éléments nutritifs

Les normes de fumure figurant dans le tableau 1 (azote N, phosphore sous forme P_2O_5 , potassium sous forme K_2O et magnésium Mg) représentent l'approvisionnement minéral nécessaire aux cultures pour l'obtention de rendements optimaux en quantité et en qualité. Ces chiffres expriment les besoins des cultures dans des sols suffisamment pourvus d'éléments nutritifs (niveau de fertilité selon analyse du sol : C = satisfaisant; tableau 2, page 9). Si le niveau d'approvisionnement de l'un ou l'autre des éléments est plus élevé ou plus bas, la fumure doit être corrigée vers le haut ou vers le bas en fonction des résultats d'analyse (chapitre 3). Pour fixer la fumure azotée, il faut d'autre part tenir compte de l'azote disponible aux plantes dans le sol. Les analyses N_{min} du sol donnent des indications précieuses sur la disponibilité momentanée d'azote dans la zone des racines (chapitre 4).



Les espèces maraîchères se distinguent souvent nettement les unes des autres en termes de besoins alimentaires.

Explication des notions des tableaux 1a et 1b

Besoins alimentaires (bruts): Quantité totale d'éléments nutritifs absorbés par la culture jusqu'à la récolte.

Teneur des résidus de récolte en éléments nutritifs: Le parage et la préparation des différents types de légumes génèrent des quantités variables de résidus. Pour les cultures de plein champ, ils restent en général au champ. Les éléments nutritifs P, K et Mg qu'ils contiennent peuvent être totalement comptabilisés en apports pour les cultures suivantes. L'azote contenu dans les résidus de récolte est en principe assimilable à 80% par les cultures suivantes (= $N_{assimilable}^*$), selon l'espèce. Toutefois, des pertes d'azote se produisent, surtout durant la période de repos végétatif, et les cultures suivantes ne peuvent en conséquence utiliser qu'environ 20% ($N_{disponible}^{**}$) de cet azote assimilable.

Besoins nets d'éléments nutritifs (en jaune dans le tableau): On les calcule sur la base des besoins bruts dont on déduit la teneur d'éléments nutritifs des résidus de récolte. Dans le cas de P, K et Mg, cela correspond à peu près aux éléments nutritifs contenus dans les récoltes sorties du champ. Pour le calcul des besoins nets d'azote, comme indiqué ci-dessus, on ne comptabilise que 20% de l'azote assimilable contenu dans les résidus de récolte.

Tableau 1a: Besoins alimentaires bruts, résidus de récolte et besoins nets des productions maraîchères (cultures de plein champ)

Culture Légumes de plein champ	Rendement kg/a	Besoins bruts de fertilisants (kg/ha)				Teneurs d'éléments nutritifs des résidus de récolte (kg/ha)					Besoins nets de fertilisants (kg/ha)			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	N assim.*	N disp.**	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
Crucifères														
Chou-fleur	350	300	100	420	30	200	40	60	300	20	260	40	120	10
Chou-rave	400	160	50	220	40	60	10	20	100	20	150	30	120	20
Brocoli	180	250	50	170	20	150	30	20	80	10	220	30	90	10
Chou de Chine	600	180	90	300	30	80	20	30	100	20	160	60	200	10
Chou précoce, bêche	300	160	80	260	20	100	20	40	110	10	140	40	150	10
Chou de garde	500	220	100	330	30	150	30	50	130	10	190	50	200	20
Chou à choucroute	800	300	120	400	40	200	40	60	150	20	260	60	250	20
Chou-pomme	300	140	60	180	30	40	10	20	60	10	130	40	120	20
Chou-pomme, trans- formation	450	180	80	230	40	50	10	30	80	10	170	50	150	30
Radis, 10 bottes/m ²	300	50	20	80	10	0	0	0	0	0	50	20	80	10
Radis long, 8-9 p./m ²	400	120	50	220	20	40	10	10	70	10	110	40	150	10
Chou de Bruxelles	250	300	110	370	20	200	40	60	200	15	260	50	170	5
Navet de printemps, rave d'automne	400	150	50	250	30	60	10	20	100	10	140	30	150	20
Chou frisé, léger	300	140	40	240	20	100	20	10	100	10	120	30	140	10
Chou frisé, lourd	400	170	60	280	20	150	30	20	120	10	140	40	160	10
Cima di rapa	400	170	60	280	20	150	30	20	120	10	140	40	160	10
Roquette, 1 coupe	200	150	30	150	10	0	0	0	0	0	150	30	150	10
Roquette, 2 coupes	300	210	40	180	20	0	0	0	0	0	210	40	180	20
Astéracées														
Endive, culture de racines	400	80	60	250	50	50	10	10	100	20	70	50	150	30
Chicorée rouge	160	120	40	140	20	40	10	20	50	10	110	20	90	10
Chicorée scarole	350	140	40	200	30	60	10	10	40	10	130	30	160	20
Chicorée scarole	600	180	50	250	30	100	20	10	50	10	160	40	200	20
Salades, diverses	350	100	40	120	20	40	10	20	50	10	90	20	70	10
Salades, diverses	600	120	50	180	20	50	10	10	60	10	110	40	120	10
Laitue à tondre	150	60	30	100	20	20	0	10	40	0	60	20	60	20
Scorsonère	250	130	40	150	20	60	10	10	50	10	120	30	100	10
Chicorée pain de sucre	350	140	50	180	30	60	10	30	90	20	130	20	90	10
Ombellifères														
Fenouil	400	180	50	280	30	100	20	20	100	10	160	30	180	20
Carotte parisienne	250	60	40	160	20	40	10	10	60	10	50	30	100	10
Carotte précoce, en botte	350	100	50	180	30	20	0	10	40	10	100	40	140	20
Carottes de garde, de transformation	600	120	60	380	30	70	10	20	130	10	110	40	250	20
Carottes de garde, de transformation	900	150	70	455	30	100	20	20	155	10	130	50	300	20
Persil	250	100	40	160	20	20	0	10	40	0	100	30	120	20
Céleri-pomme	600	210	90	500	40	100	20	20	200	20	190	70	300	20
Céleri-branche	600	200	80	400	30	80	20	10	100	10	180	70	300	20
Chénopodiacées														
Bette à côtes	1000	160	80	300	50	40	10	20	80	20	150	60	220	30
Betterave à salade	600	150	50	220	40	60	10	10	60	20	140	40	160	20
Epinard non hiver- nant, semis avant mi-avril, une coupe	120	170	25	200	20	40	10	5	50	5	160	20	150	15

Culture Légumes de plein champ	Rendement kg/a	Besoins bruts de fertilisants (kg/ha)				Teneurs d'éléments nutritifs des résidus de récolte (kg/ha)					Besoins nets de fertilisants (kg/ha)			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	N assim.*	N disp.**	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
Chénopodiacées														
Epinaud non hivernant, semis après mi-avril, une coupe	120	140	25	200	20	40	10	5	50	5	130	20	150	15
Epinaud d'hiver, une coupe	120	190	25	200	20	40	10	5	50	5	180	20	150	15
Epinaud, deux coupes	200	160	60	240	30	60	10	20	60	10	150	40	180	20
Légumineuses														
Haricot nain, à rames, cueillette main	150	30	60	200	10	150	30	40	130	5	0 ①	20	70	5
Haricot, transformation	90	20	40	150	10	140	20	30	120	5	0 ①	10	30	5
Pois, transformation	70	20	55	210	20	120	20	35	150	15	0 ①	20	60	5
Pois mangetout	100	0	50	210	20	40	0	20	100	10	0 ①	30	110	10
Engrais vert légumineuses	300	0	0	0	0	50	0	20	50	10	0	0	0	0
Cucurbitacées														
Concombre à vinaigre	300	150	50	250	30	60	10	20	80	10	140	30	170	20
Melon	400	150	50	250	60	60	10	20	80	20	140	30	170	40
Courgette, courge, pâtisson	500	150	30	150	10	100	20	10	50	0	130	20	100	10
Solanacées														
Aubergine	400	190	50	200	30	80	20	30	70	20	170	20	130	10
Tomate ②	800	130	50	260	30	0	0	0	0	0	130	50	260	30
Liliacées														
Poireau	500	220	70	280	30	100	20	30	100	10	200	40	180	20
Ciboulette	300	180	40	180	30	60	10	10	60	10	170	30	120	20
Asperge blanche ②	50	140	30	130	20	0	0	0	0	0	140	30	130	20
Asperge verte ②	25	150	30	110	20	0	0	0	0	0	150	30	110	20
Oignon	600	130	60	160	20	0	0	0	0	0	130	60	160	20
Espèces diverses														
Engrais vert autre que légumineuses	400	30	0	0	0	20	0	20	50	10	30	0	0	0
Herbes aromatiques, petites	50	40	15	60	10	0	0	0	0	0	40	15	60	10
Herbes aromatiques, moyennes	150	70	40	190	25	0	0	10	30	10	70	30	160	15
Herbes aromatiques, moyennes à grandes	300	120	55	245	35	0	0	15	45	15	120	40	200	20
Herbes aromatiques, grandes	500	170	70	310	45	40	10	20	60	20	160	50	250	25
Mâche, rampon	100	50	20	60	10	0	0	0	0	0	50	20	60	10
Rhubarbe	450	140	50	220	30	60	10	20	100	20	130	30	120	10
Maïs sucré	180	150	80	260	30	0	0	30	160	10	150	50	100	20
Moyenne légumes de plein champ		130	45	185	25	50	10	15	65	10	120	30	120	15

Légendes des notes de bas de page:

- ① Fumure de démarrage avec 30 kg N/ha seulement pour cultures très hâtives ou après fortes précipitations. Si l'on a apporté 30 kg N/ha à ces cultures, cette quantité peut être comptabilisée dans le calcul du bilan de fumure (besoins nets de fertilisants).
- ② En règle générale, les résidus de récolte sont évacués.

Tableau 1b: Besoins alimentaires, résidus de récolte et besoins nets des productions maraîchères sous serre et sous tunnel haut

Culture Légumes de serre et de tunnel haut	Rendement kg/a	Besoins bruts de fertilisants (kg/ha)				Teneurs d'éléments nutritifs des résidus de récolte (kg/ha)					Besoins nets de fertilisants (kg/ha)			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	N assim.*	N disp.**	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
Aubergine, culture en sol	900	200	100	350	50	0	0	0	0	0	200	100	350	50
Haricot à rames ③	500	0-40	80	180	30	40	0	0	0	0	40	80	180	30
Chicorée, automne	450	140	50	180	30	0	0	0	0	0	140	50	180	30
Concombre, culture en sol, 30 pièces/m ²	1500	200	100	300	60	0	0	0	0	0	200	100	300	60
Concombre, culture en sol, 50 pièces/m ² ④	2500	300	150	400	80	0	0	0	0	0	300	150	400	80
Chou-rave	450	140	60	200	30	0	0	0	0	0	140	60	200	30
Bette à côtes	900	200	100	400	50	0	0	0	0	0	200	100	400	50
Cresson ③	130	20	10	30	10	0	0	0	0	0	20	10	30	10
Poireau	500	160	60	220	30	0	0	0	0	0	160	60	220	30
Mâche, rampon③	120	50	10	60	10	0	0	0	0	0	50	10	60	10
Poivron, culture en sol	600	160	50	250	30	0	0	0	0	0	160	50	250	30
Persil	300	100	50	180	20	0	0	0	0	0	100	50	180	20
Pourpier	150	70	20	90	20	0	0	0	0	0	70	20	90	20
Radis, 20 bottes/m ² ③	400	60	30	100	20	0	0	0	0	0	60	30	100	20
Radis long, 18 pièces/m ²	600	90	50	200	30	0	0	0	0	0	90	50	200	30
Roquette, une coupe	200	150	30	150	10	0	0	0	0	0	150	30	150	10
Roquette, deux coupes	300	210	40	180	20	0	0	0	0	0	210	40	180	20
Laitue pommée, iceberg, lollo	400	80	30	140	20	0	0	0	0	0	80	30	140	20
Ciboulette, une culture⑤	300	100	40	180	30	0	0	0	0	0	100	40	180	30
Salade à tondre	150	50	10	50	10	0	0	0	0	0	50	10	50	10
Céleri-soupe, 40 pièces/m ²	600	120	70	220	30	0	0	0	0	0	120	70	220	30
Epinard	120	100	30	140	20	0	0	0	0	0	100	30	140	20
Tomate, en sol	1200	170	80	340	60	0	0	0	0	0	170	80	340	60
Tomate, en sol	1800	250	100	500	80	0	0	0	0	0	250	100	500	80
Tomate, en sol	2400	330	160	680	120	0	0	0	0	0	330	160	680	120
Tomate, en sol	3000	400	200	850	150	0	0	0	0	0	400	200	850	150
Courgette, pâtisson	600	160	30	150	10	0	0	0	0	0	160	30	150	10
Moyenne serre		130	60	220	35	0	0	0	0	0	130	60	220	35

Légendes des notes de bas de page:

- ③ On peut renoncer à une fumure azotée après des cultures laissant d'importants résidus azotés.
- ④ La fumure sera ajustée proportionnellement à des rendements plus élevés.
- ⑤ Forçage de ciboulette sans ajout d'éléments nutritifs.

3. Fumure phosphorée, potassique et magnésienne: calcul des quantités d'éléments nutritifs à ajouter

Sur des sols suffisamment pourvus (niveau C = satisfaisant) des éléments nutritifs individuels P, K et Mg, la fumure doit être ajustée pour compenser les quantités d'éléments exportés de chaque parcelle par les produits récoltés. Si le sol est insuffisamment ou excessivement pourvu de l'un ou l'autre des éléments, la fumure doit être ajustée en fonction des facteurs de correction déduits des résultats des analyses de terre.

3.1. Choix de la méthode d'analyse de terre

En cultures maraîchères, on détermine les éléments assimilable par les plantes avec les méthodes de l'acétate d'ammonium + EDTA (AAE10) et de l'extrait à l'eau (H₂O10). Le choix de la méthode d'analyse doit se baser sur les propriétés du sol. Les analyses pratiquées avec la méthode AAE10 sur des sols calcaires (pH > 6.8) ne peuvent pas être interprétées de manière fiable pour la planification de la fumure P et Mg. C'est pourquoi la détermination de l'état d'approvisionnement du sol en ces deux éléments ne doit se faire que sur la base de l'extrait à l'eau.

3.2. Fréquence d'échantillonnage, prélèvement des échantillons

Il est recommandé d'analyser les parcelles de plein champ tous les cinq ans au minimum, les surfaces de serre une année sur deux au moins. Les sols carencés ou trop riches de certains éléments nutritifs doivent être analysés plus souvent. Pour les PER, toutes les parcelles doivent être échantillonnées au moins tous les 10 ans.

Les analyses de terre destinées à déterminer la teneur du sol en éléments nutritifs et d'autres paramètres du sol doivent toujours se faire à la même saison. L'idéal est de le faire durant la période où la végétation est absente, entre novembre et mars ou peu avant la culture principale. Le prélèvement des échantillons doit se faire avant la fumure, car l'application d'engrais peut fausser considérablement les résultats.

Méthode recommandée: Prélever au moins 1 échantillon de mélange de terre pour 2-3 ha. La surface échantillonnée doit être aussi homogène que possible. Les prélèvements (au

moins 10 à 20 piqûres) seront faits dans la diagonale des parcelles. Les échantillons destinés à l'analyse de P, K, Mg et Ca seront prélevés dans la couche supérieure du sol, entre 0 et 25 cm (voir les méthodes de référence des stations de recherche Agroscope).

Dans les parcelles dont les sols ne sont pas homogènes, le prélèvement des échantillons se fera dans le périmètre de la plus grande portion du type dominant de sol. Si les conditions de sol sont très inhomogènes ou si la croissance des plantes est très variable dans la parcelle, il est souvent nécessaire de grouper les prélèvements en plusieurs échantillons séparés. Les produits des prélèvements faits dans chaque parcelle ou portion seront mélangés pour en faire un échantillon, et les échantillons seront entreposés au frais et envoyés le plus rapidement possible à un laboratoire reconnu d'analyses de sols.

3.3. Calcul de la fumure sur la base de l'analyse de terre

Se basant sur les analyses effectuées, les laboratoires reconnus et recommandés pour le conseil de fumure en cultures spéciales déterminent la teneur du sol des différents éléments nutritifs ainsi que les facteurs de correction pour la fumure. Ils se basent pour cela sur des schémas d'interprétation différenciés selon la teneur d'argile et de matière organique des sols. Les facteurs de correction servent au calcul des quantités de P, K et Mg à ajouter. On trouvera au chapitre 5 (tableau 5, page 18) un exemple de calcul proche d'une situation réelle.

Lorsque l'on a des résultats des deux méthodes d'analyse les plus fréquemment utilisées en cultures maraîchères, on calcule pour les éléments P, K et Mg des facteurs de correction globaux. Les résultats de la méthode à l'acétate d'ammonium + EDTA (AAE10) sont utilisés tels quels, ceux de la méthode d'extrait à l'eau (H₂O10) sont comptés à double.

**Facteur de correction global =
(1x facteur AAE10 + 2x facteur H₂O10) : 3**

Tableau 2: Estimation sommaire de l'état d'approvisionnement du sol sur la base des facteurs de correction calculés (selon DBF 2009)

Facteur de correction	Estimation	Niveau de fertilité
>1.4	pauvre	A
1.2-1.4	médiocre	B
0.9-1.1	satisfaisant	C
0.2-0.8	réserve	D
<0.2	très riche	E

3.4. La fumure P, K et Mg dans la pratique

En cultures maraîchères, la fumure de fond P, K et Mg devrait se faire pour chaque culture séparément, peu avant le semis ou la plantation. Si les analyses de terre d'une parcelle indiquent un niveau de fertilité suffisant (niveau C à E), on peut se contenter d'une fumure simplifiée de rotation : apporter les quantités de P, K et Mg nécessaires à l'ensemble des cultures de la saison en un seul épandage appliqué à la première culture au printemps. Sur les sols dont le niveau de fertilité est pauvre à médiocre (A à B), on renoncera à grouper ainsi la fumure de fond.

Phosphore

Comme le phosphore est médiocrement soluble et peu mobile, les engrais phosphorés sont apportés avant le labour pour les cultures dont l'enracinement est moyen à profond, et avant la préparation du lit de semis ou de plantation pour les cultures dont l'enracinement est superficiel.

La capacité des racines à absorber le phosphate est limitée au printemps lorsque le sol est froid et humide. Pour cette raison, l'apport de phosphore prend une importance particulière dans les cultures de printemps à l'enracinement superficiel, sur des sols pauvrement à médiocrement pourvus de phosphore.

Des pertes de phosphore peuvent se produire dans les périodes de fortes précipitations, par ruissellement d'engrais de ferme et du commerce épandus sans enfouissement sur des sols humides. Il ne faut pas non plus sous-estimer les pertes de phosphore par érosion de particules du sol contenant des phosphates. Ainsi, les mesures destinées à réduire l'érosion contribuent aussi à diminuer les pertes de phosphore.

Potassium

Bien qu'il soit moins sujet au risque de lessivage, excepté dans les sols sableux, le potassium doit être apporté de préférence peu avant le début de la culture. Il faut se souvenir que des doses élevées d'engrais entraînent une augmentation de la salinité dans la zone des racines. Les différentes espèces maraîchères n'ont pas toutes la même sensibilité à une salinité élevée. Pour de nombreuses cultures de semis, le stress dû à la salinité cause une levée irrégulière. Si la quantité de K nécessaire dépasse 200 kg K_2O /ha, il faut la répartir en une application avant le début de la culture ($2/3$) et une autre en couverture ($1/3$) pour les cultures sensibles à la salinité comme la carotte, l'oignon ou l'endive (culture de racines).

Pour le choix du type d'engrais, il faut tenir compte de la sensibilité au chlore des différentes espèces de légumes. Pour assurer l'approvisionnement en soufre, les engrais contenant des sulfates prennent beaucoup d'importance à côté des engrais potassiques contenant du chlore.

Magnésium

Dans le sol, le magnésium est plus mobile que le phosphore et le potassium. Il est sujet à la lessivage, surtout dans les sols légers. Dans les sols sableux surtout, les engrais magnésiens ne seront apportés si possible qu'au début ou durant la phase principale de la culture. En cultures maraîchères, le magnésium est apporté presque exclusivement sous forme de sulfate, ce qui permet de couvrir en même temps une partie du besoin de soufre. Dans les sols acides, la disponibilité du magnésium du sol peut être améliorée par le chaulage.



Les cultures précoces ont des exigences élevées de fumure phosphorée.



L'utilisation d'engrais complets contenant des sulfates revêt une grande importance pour les légumes exigeants en soufre. Au milieu de la photo, on voit nettement les symptômes de carence en soufre (chlorose foliaire).

4. Fumure azotée : calcul de la quantité d'azote à appliquer

4.1. Détermination de la fumure azotée par la méthode N_{min}

Les besoins d'azote des différentes cultures maraîchères figurent dans le tableau 1 (chapitre 2). Les producteurs de légumes qui tiennent compte de la quantité d'azote déjà disponible dans le sol pour calculer la fumure azotée se basent sur les analyses N_{min} , un outil précieux.

L'analyse N_{min} donne la quantité d'azote disponible aux plantes à un moment donné. La profondeur de prélèvement des échantillons est adaptée à la profondeur d'enracinement de la culture concernée. Pour les cultures dont l'enracinement est limité en volume et en profondeur, on ne considérera que la couche du sol comprise entre 0 et 30 cm. Pour celles dont l'enracinement est volumineux et profond, des échantillons seront prélevés dans les couches du sol de 0-30 cm et de 30-60 cm. Pour obtenir un échantillon moyen représentatif, il faut faire au moins 12 piqûres dans la diagonale de la parcelle. La méthode N_{min} ne donne des résultats fiables que si l'intervalle entre le prélèvement et la dernière application d'azote dépasse 4 semaines.

Le réchauffement des échantillons destinés à l'analyse N_{min} doit être évité au champ déjà, en les plaçant dans une boîte isotherme. S'ils ne peuvent pas être directement acheminés au laboratoire d'analyses, il faut les congeler afin d'éviter que la minéralisation se poursuive dans les sachets.

Le résultat de l'analyse permet de calculer la quantité d'azote disponible dans la zone des racines (en kg N/ha). Cette valeur N_{min} est alors comparée à une valeur indicative pour le stade actuel de développement (voir tableau 3, page 12), pour calculer la quantité d'azote à ajouter. L'analyse N_{min} donne un aperçu instantané. Elle ne permet pas de prédire avec certitude la minéralisation d'azote à venir dans la suite de la culture.

$$\text{Apport de N (en kg N/ha)} = \text{Valeur indicative } N_{min} - \text{teneur } N_{min} \text{ du sol}$$

L'apport d'azote fourni sur la base de l'échantillonnage N_{min} doit être reporté dans le tableau Suisse-Bilanz, resp. dans le plan de fumure.



Un apport excessif d'azote durant les premiers stades de culture peut entraîner chez le chou de Bruxelles un allongement excessif des plantes qui sont alors sujettes à la verse.



Un apport excessif d'azote en culture de racines d'endive se traduit au forçage par une proportion élevée de chicons trop peu compacts.

Tableau 3a: Fumure azotée sur la base des analyses N_{min} en cultures de plein champ

Culture Légumes de plein champ	Rendement	Besoin global de N	Profondeur des prélèvements ③	Valeur indicative N _{min} dans les semaines respectives de culture (kg N/ha)⑤						
	kg/a	kg N/ha	cm	0 ④	2	4	6	8	10	12
Crucifères										
Chou-fleur	350	300	60	140	330	270	180	140	100	70
Chou-rave	400	160	60	-	190	170	120	80	50	30
Brocoli	180	250	60	140	280	220	160	110	60	-
Chou de Chine, semé	600	180	60	-	230	190	120	80	50	-
Chou de Chine, planté	600	180	60	110	200	150	80	50	-	-
Chou précoce, bâche	300	160	60	120	190	150	100	60	50	50
Chou de garde	500	220	60	140	240	190	130	60	50	50
Chou à choucroute	800	300	60	150	320	260	160	100	50	50
Chou-pomme	300	140	30	80	170	120	60	40	40	-
Chou-pomme industrie	450	180	30	90	200	150	80	50	40	-
Radis, 10 bottes/m ²	300	50	30	90	90	40	40	-	-	-
Radis blanc, 8-9 pièces/m ²	400	120	30	-	150	120	80	40	-	-
Chou de Bruxelles	250	300	60	140	320	250	180	100	50	50
Navet de printemps, rave d'automne	400	150	60	90	180	130	70	40	40	-
Chou frisé léger	300	140	60	160	140	130	110	80	50	-
Chou frisé lourd	400	170	60	180	160	140	120	100	80	60
Cima di rapa	400	170	60	180	160	140	120	100	80	60
Roquette, 1 coupe	200	150	30	100	160	150	120	90	70	50
Roquette, 2 coupes	300	210	30	100	160	150	120	120	80	50
Astéracées										
Endive, culture de racines	400	80	60	-	-	80	80	50	50	-
Chicorée rouge semée	160	120	60	-	160	130	100	80	60	40
Chicorée rouge plantée	160	120	30	80	140	110	80	40	-	-
Chicorée scarole semée	350	140	60	-	180	160	130	100	70	40
Chicorée scarole semée	600	180	60	-	220	200	160	120	80	50
Chicorée scarole plantée	350	140	30	80	170	140	110	80	40	-
Chicorée scarole plantée	600	180	30	100	190	160	130	100	50	-
Salades diverses	350	100	30	100	130	70	40	40	-	-
Salades diverses	600	120	30	100	130	70	40	40	-	-
Laitue à tondre	150	60	30	50	80	70	50	30	-	-
Scorsonère	250	130	60	-	170	170	160	160	150	140
Pain de sucre, semé	350	140	60	-	180	160	130	100	70	40
Pain de sucre, planté	350	140	30	80	170	150	120	90	60	40
Ombellifères										
Fenouil semé	400	180	60	-	200	190	160	130	90	40
Fenouil planté	400	160	30	80	180	150	120	80	40	-
Carotte parisienne	250	60	60	-	90	90	70	50	30	30
Carotte précoce en bottes	350	100	60	-	-	130	120	80	40	30
Carotte de transformation, de garde	600	120	60	-	150	150	100	50	30	30
Carotte de transformation, de garde	900	150	60	-	180	170	120	70	30	30
Persil, semé	250	100	60	-	-	-	150	140	130	120
Persil, planté	250	100	30	60	150	140	130	120	110	100
Persil d'hiver	150	100	30	60	120	110	100	90	F	100
Céleri-pomme	600	200	60	100	190	180	170	120	100	80
Céleri-branche	600	210	60	100	230	200	160	130	100	40

Culture Légumes de plein champ	Rendement kg/a	Besoin global de N kg N/ha	Profondeur des prélèvements ③ cm	Valeur indicative N _{min} dans les semaines respectives de culture (kg N/ha)⑤						
				0④	2	4	6	8	10	12
Chénopodiacées										
Bette à côtes, semée	1000	160	60	-	200	190	170	140	120	100
Bette à côtes, plantée	1000	160	60	70	180	170	150	130	110	100
Betterave à salade	600	150	60	-	-	180	160	140	120	100
Epinaud non hivernant, semé avant mi-avril, une coupe	120	170	30	-	160	150	110	50	-	-
Epinaud non hivernant, semé après mi-avril, une coupe	120	140	30	-	160	150	110	50	-	-
Epinaud d'hiver, une coupe	120	190	30	-	160 ②	150	110	50	-	-
Epinaud, deux coupes	200	160	30	-	160	150	110	110	110	50
Légumineuses										
Haricot nain, manuel ①	150	0	30	30	30	30	30	30	-	-
Haricot, transformation ①	90	0	30	30	30	30	30	30	-	-
Petit pois, transformation ①	70	0	60	-	30	30	30	30	30	30
Petit pois, pois mangetout ①	100	0	60	-	30	30	30	30	30	-
Cucurbitacées										
Concombre à vinaigre	300	150	30	100	180	160	130	100	70	50
Melon	400	150	30	100	180	160	130	100	70	50
Courgette, courge, pâtisson	500	150	60	100	180	140	120	100	80	50
Solanacées										
Aubergine	400	190	60	100	230	200	160	100	70	50
Tomate	800	130	60	100	140	120	100	80	80	50
Liliacées										
Poireau, semé	500	220	60	-	-	-	260	220	180	150
Poireau, planté	500	220	60	130	250	210	170	140	120	100
Poireau à hiverner	200	170	60	100	170	160	150	120	F	120
Ciboulette, semée	300	180	60	-	240	240	220	200	180	150
Ciboulette, plantée	300	180	60	90	220	200	180	160	140	120
Asperge blanche	50	140	60	E	170	170	170	170	170	170
Asperge verte	25	150	60	E	180	180	180	180	130	100
Oignon, semé	600	130	60	-	-	180	150	120	100	100
Oignon, planté	600	130	60	-	170	140	110	70	50	-
Oignon à hiverner	300	120	60	-	80	70	60	50	F	100
Divers										
Herbes aromatiques, petites	50	40	30	80	80	70	60	50	40	30
Herbes aromatiques, moyennes	150	70	30	90	120	110	90	70	50	30
Herbes aromatiques, moyennes à grandes	300	120	30	100	200	180	160	110	70	30
Herbes aromatiques, grandes	500	170	60	120	200	180	160	110	70	30
Mâche, rampon	100	50	30	-	-	80	70	50	30	30
Rhubarbe	450	140	60	-	E	170	-	-	-	-
Maïs sucré	180	150	60	100	190	180	150	110	80	50

Tableau 3b: Fumure azotée sous serre et tunnel haut selon les analyses N_{min}

Culture Légumes sous serre et tunnel haut	Rendement	Besoin global de N	Profondeur des prélèvements ③	Valeur indicative N _{min} dans les semaines respectives de culture (kg N/ha)⑤						
	kg/a	kg N/ha	cm	0 ④	2	4	6	8	10	12
Aubergine	900	200	60	180	170	160	150	140	130	120
Haricot à rames	500	40	30	50	50	50	50	50	50	50
Scarole d'automne	450	140	30	90	180	150	120	80	50	-
Concombre, 30 pièces/m ²	1500	200	60	180	170	160	150	140	120	50
Concombre, 50 pièces/m ²	2500	300	60	180	170	160	150	140	120	120
Chou-pomme	450	140	30	170	190	140	90	50	-	-
Bette à côtes	900	200	60	160	240	220	200	170	140	100
Cresson	130	20	30	30	30	-	-	-	-	-
Poireau	500	160	30	100	210	230	200	160	100	50
Mâche, rampon, semé	140	50	30	30	30	30	30	30	30	-
Mâche, rampon, planté	120	50	30	30	30	30	30	-	-	-
Poivron	600	160	60	110	210	200	190	180	160	140
Persil	300	100	30	70	150	140	130	120	110	90
Radis, 20 bottes/m ²	400	60	30	100	80	60	40	-	-	-
Radis blanc, 18 pièces/m ²	600	90	30	130	120	100	80	60	40	-
Roquette, pourpier, une coupe	200	150	30	100	160	150	120	90	70	50
Roquette, pourpier, deux coupes	300	210	30	100	160	150	120	120	80	50
Laitue pommée, iceberg, lollo	400	80	30	100	100	100	80	40	-	-
Ciboulette (culture)	300	100	30	90	130	120	110	100	90	80
Laitue à tondre	150	50	30	70	70	30	30	-	-	-
Céleri-soupe, 40 pièces/m ²	600	120	30	100	170	170	150	100	70	50
Epinard	120	100	30	100	140	130	120	100	80	50
Tomate	1200	170	60	160	150	140	130	120	110	50
Tomate	1800	250	60	160	150	140	130	120	110	100
Tomate	2400	330	60	160	150	140	130	120	110	100
Tomate	3000	400	60	160	150	140	130	120	110	100
Courgette, pâtisson	600	160	60	100	180	140	120	100	80	50

Légendes des notes de bas de page

- ① Fumure de démarrage 30 kg N/ha seulement pour cultures très précoces ou après fortes précipitations.
- ② Nombre de semaines après le début de la croissance au printemps.
- ③ Si la profondeur de prélèvement recommandée pour l'analyse N_{min} est de 0-60 cm et que l'on ne dispose que d'un échantillon de terre à 0-30 cm, on comptera à double la valeur de 0-30 cm. La couche de 0-60 cm peut aussi être analysée sur un seul échantillon.
- ④ Au début de la culture, l'analyse de terre N_{min} ne doit être faite que pour l'horizon de 0-30 cm.
- ⑤ Les périodes recommandées des analyses N_{min} ont un **fond grisé**. Le signe „-“ indique: pas d'analyse N_{min} ni de fumure à cette période. La lettre „F“ signifie: valeur au printemps, en début de végétation. La lettre „E“ signifie: valeur N_{min} après la récolte, répartir la fumure en deux applications. Pas de fumure azotée après la fin du mois de juillet. Pour la rhubarbe et l'asperge verte, une application partielle supplémentaire avant le début de la récolte.

Pour mémoire: En cultures maraîchères, pas d'apport d'azote dépassant 60 kg par ha sous forme de nitrate.

4.2. La fumure azotée tenant compte de l'analyse de la sève des plantes

La teneur de nitrate de la sève (analyse de sève) peut être utile à l'estimation de l'état actuel d'approvisionnement en azote d'une culture. L'analyse établit la teneur de nitrate d'un échantillon moyen représentatif de pétioles et de nervures de feuilles de la culture.

L'échantillonnage se fait en prélevant des pétioles ou des nervures de feuilles d'âge moyen de 20 plantes réparties régulièrement dans la culture, pour en faire un échantillon moyen. On n'obtient un résultat représentatif de l'état d'approvisionnement en azote de la culture concernée que si les échantillons sont prélevés sur des plantes dont l'approvisionnement en eau est optimal. Le prélèvement des échantillons doit se faire le matin. Comme les teneurs de nitrate peuvent changer encore dans le matériel végétal prélevé, les échantillons doivent être aussi rapidement que possible refroidis ou congelés. Il est recommandé de confier l'analyse du nitrate à un laboratoire professionnel

Interprétation:

Les teneurs de nitrate mesurées dans les tissus végétaux sont exprimées en ppm (mg de nitrate par kg de masse fraîche). On les compare aux valeurs indicatives pour la culture concernée au stade de développement correspondant (tableau 4, pages 16 et 17). Si la valeur mesurée se situe de 500 à 1000 ppm au-dessous de la valeur indicative correspondante, il faut appliquer une fumure de couverture de 30 kg N/ha. Si la valeur mesurée est inférieure de plus de 1000 ppm à la valeur indicative, on appliquera 60 kg N/ha.

L'analyse de sève est une précieuse aide pour décider si et dans quelle quantité il faut apporter un complément d'azote aux cultures qui exigent une répartition dans le temps de l'apport d'azote. Comme il ne s'agit pas d'une méthode «scientifiquement exacte», elle n'est pas reconnue dans le cadre des prestations écologiques requises (PER), au contraire de la méthode N_{min} , pour justifier un besoin d'azote dépassant la norme officielle.



Un approvisionnement généreux en azote favorise chez les laitues le brunissement du cœur.



L'analyse de sève donne de précieuses indications sur l'état actuel d'approvisionnement en azote pour les espèces de légumes à longue durée de culture.

Tableau 4a: Valeurs indicatives de nitrate pour l'analyse de sève en cultures de plein champ aux différents stades de développement

Culture Légumes de plein champ	Valeurs indicatives provisoires (mg nitrate / kg de masse fraîche (ppm NO ₃))						
	Semaines après la plantation resp. après la levée (①)						
	2	3	4	5	6	7	8
Crucifères							
Chou-fleur							
Printemps sous bâche			9000	8000	7000	6000	
Plein été	9000	9000	8000	7000	6000	4000	3000
Automne		10000	9000	8000	7000	6000	
Brocoli							
Printemps sous bâche	10000	10000	10000	9000	8000	7000	6000
Début d'été		10000	10000	9000	8000	6000	
Plein été		10000	10000	8000	6000	4000	
Fin d'été	10000	10000	10000	8000	7000	5000	4000
Automne	10000	10000	10000	8000	7000	5000	4000
Chou de Chine							
Printemps sous bâche	6000	6000	5000	4000	3000	2000	1500
Début d'été	6000	6000	5000	3000	3000	2500	2000
Plein été	6000	6000	4000	3000	2000	1500	1000
Fin d'été	6000	5000	4000	3000	2000	1500	1000
Automne pour la garde	8000	6000	5000	4000	3000	3000	3000
Chou rouge							
Printemps sous bâche			10000	10000	8000		
Fin d'été			10000	8000	7000	6000	5000
Chou blanc							
Printemps sous bâche			8000	7000	6000	5000	4000
Astéracées							
Laitue batavia et iceberg							
Printemps sous bâche			3000	3000	3000	2500	
Début d'été	3000	2500	2500				
Plein été	3000	2500	2500				
Lollo rosso							
Début d'été	2500	2000					
Plein été	2000	2000					
Laitue pommée							
Printemps sous bâche			3000	3000	2500		
Début d'été	3000	2500	2000				
Plein été	3000	2500	2000				
Fin d'été	3000	2500	2000				
Automne	3500	3000	2500				
Ombellifères							
Fenouil							
Printemps sous bâche			8000	8000	8000	7000	6000
Plein été		8000	8000	7000	6000	6000	
Fin d'été		8000	7000	6500	6000	5000	
Automne		9000	8500	8000	7000	6000	
Carotte précoce ①			8000	7000	6000	5000	3000
Carotte de garde ①			10000	9000	8000	7000	6000
Céleri-pomme							
Printemps sous bâche			9000	9000	8000	7000	6000
Céleri de garde			6000	6000	5000	5000	4000
Céleri, industrie				7000	7000	7000	6000
Céleri-branche							
Printemps sous bâche			8000	8000	7000	7000	6000
Liliacées							
Poireau d'automne (feuille)			3000	3000	3000	3000	3000
Poireau d'automne (fût)			3500	3500	3500	3500	3500

Tableau 4b: Valeurs indicatives de nitrate pour l'analyse de sève en cultures de plein champ aux différentes époques

Culture Légumes de plein champ	Valeurs indicatives provisoires (mg nitrate / kg de masse fraîche (ppm NO ₃))						
	Saison						
	Début mai	Fin mai	Mi-juin	Début juillet	Fin juillet	Mi-août	Début septembre
Chou à choucroute	12000	11000	10000	8000	6000	5000	2000
Chou pommé de garde			8000	7000	5000	4000	3000
Carotte précoce	6000	3000					
Carotte de garde				12000	10000	8000	4000
Poireau d'automne (feuille)				4000	3000	3000	2000
Poireau d'automne (fût)				4500	3500	3500	2500
Betterave à salade (pétiole)	6000	5000	4000	3000	2000		
Betterave à salade (bulbe)			2500	2000	1500		
Chou de Bruxelles			12000	12000	10000	8000	3000
Céleri, industrie			6000	5000	4000	3000	2000
Céleri de garde			6000	5000	4000	3000	2000
Oignon de garde (feuille)		2000	1500	1000	500		

Tableau 4c: Valeurs indicatives de nitrate pour l'analyse de sève en culture sous serre et tunnel haut

Légumes sous abris de culture		Valeurs indicatives provisoires dans la sève des pétioles (mg nitrate / kg de masse fraîche (ppm NO ₃))		
		Semaines après la plantation		
Culture	Type de culture	1 ^{ère} -4 ^e semaine	5 ^e -8 ^e semaine	9 ^e -12 ^e semaine
Haricot à rames	Sur substrat	2500 - 3000	2000 - 3000	1500 - 2000
	En sol	2500 - 3000	2000 - 3000	1000 - 2000
Concombre	Sur substrat	8000 - 10000	7000 - 9000	5000 - 8000
	En sol	6000 - 8000	6000 - 8000	4000 - 6000
Tomate	Sur substrat	8000 - 10000	9000 - 11000	7000 - 9000
	En sol	7000 - 9000	7000 - 9000	6000 - 8000
Poivron	Sur substrat	10000-12000	8000 - 10000	7000 - 9000
	En sol	9000 - 11000	7000 - 9000	6000 - 8000

4.3. Optimisation de la fumure azotée

L'azote apporté à la culture est sujet à la lessivage. Dans le cas des engrais de ferme et des engrais minéraux contenant de l'ammonium ou de l'urée, il y a aussi une volatilisation d'ammoniaque. Le choix du moment de l'apport et la répartition de la fumure en plusieurs applications au cours de la culture sont donc beaucoup plus importants pour l'azote que pour P, K et Mg. Les apports échelonnés sont décidés en fonction du besoin momentané d'azote au stade concerné du développement de la culture. Les prestations écologiques requises interdisent l'apport de plus de 60 kg N sous forme de nitrate par ha et par application si l'on utilise des engrais azotés fortement sujets à la lessivage. Les engrais contenant de l'ammonium et de l'urée doivent être enfouis ou leur application suivie d'un arrosage, afin d'empêcher si possible les pertes d'ammoniaque. L'ammoniaque dégagée par les engrais contenant de l'ammonium ou de l'urée peut causer des brûlures au feuillage des plantes, particulièrement dans les cultures précoces sous voile ou sous bâche perforée.

Les engrais à libération lente, qui libèrent l'azote en petites quantités sur une certaine durée, simplifient en principe la fumure azotée. Pourtant, il reste une certaine incertitude quant à l'adéquation optimale de la quantité d'azote libérée aux besoins momentanés de la culture.

5. Bilan des éléments nutritifs selon Suisse-Bilanz

Dans le bilan des éléments nutritifs de l'ensemble de l'exploitation, les besoins nutritifs nets de toutes les cultures pratiquées sont additionnés, et comparés à la quantité d'éléments nutritifs contenus dans les engrais apportés. Parmi ces derniers, on distingue les engrais de ferme et de déchets provenant de l'exploitation et ceux provenant de l'extérieur de cette dernière.

La différence entre les besoins globaux d'éléments nutritifs *nets* des cultures pratiquées et la quantité d'éléments nutritifs *internes* = en provenance de l'exploitation elle-même (engrais de ferme et de déchets) permet de calculer les quantités d'engrais que l'on peut acquérir en dehors de l'exploitation:

$$\text{Apports externes} = \text{Besoins nutritifs nets} - \text{éléments nutritifs internes}$$

L'objectif de l'opération est d'atteindre un *bilan équilibré de tous les éléments nutritifs*.

Les prescriptions de Suisse-Bilanz pour la fumure ont un caractère obligatoire pour les exploitations PER. Il est recommandé aux exploitations non-PER d'utiliser aussi Suisse-Bilanz. L'autorité cantonale chargée de l'application peut cependant accepter une autre méthode comparable d'établissement du bilan de phosphore et d'azote.

Dans les PER, le bilan des éléments nutritifs est considéré comme équilibré lorsque les quantités cumulées de P et de N apportées par les engrais importés et ceux de l'exploitation ne dépassent pas les besoins nets des cultures, ou seulement dans la fourchette acceptable de +10% considérée comme la marge maximale d'erreur. Selon les prescriptions PER, l'intégration des résultats des analyses de terre pour le calcul du bilan des éléments nutritifs est laissé au libre choix des producteurs maraîchers, pour autant que le bilan de phosphore et d'azote soit équilibré.

Dans les PER, la prise en compte des analyses de terre et l'établissement d'un plan de fumure à l'échelle des parcelles est obligatoire pour toutes les cultures pratiquées, s'il est nécessaire, en raison d'un niveau de fertilité insuffisant des sols, d'apporter davantage de P que la quantité représentée par le besoin net de toutes les cultures (tableau 5). Des adaptations de la fumure azotée sont admissibles sur la base d'analyses N_{\min} , en complément au plan de fumure mentionné ci-dessus pour les autres éléments nutritifs dans les différentes parcelles et cultures.

Les cultures maraîchères réagissent rapidement aux déséquilibres minéraux du sol par des pertes qualitatives et quantitatives de récoltes. Il est donc fortement recommandé de tenir compte des analyses de terre pour la détermination des apports d'engrais.

Tableau 5: Exemple de calcul du bilan des éléments nutritifs selon Suisse-Bilanz pour le secteur maraîcher (chou de garde, laitue pommée) d'une exploitation agricole

Culture	Surface ha	Besoin net d'éléments nutritifs (kg/ha)				Calcul du besoin de fumure (besoin net corrigé d'éléments nutritifs) sur la base des analyses de terre							Besoin net d'éléments nutritifs par an et surface (kg)			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	Fumure selon N_{\min}	Fact. P	P ₂ O ₅ kg/ha	Fact. K.	K ₂ O kg/ha	Fact. Mg	Mg kg/ha	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
Chou de garde	1.5	190	50	200	20	220	1.2	60	1.1	220	1.2	24	330	90	330	36
Laitue pommée	2.0	90	20	70	10	Fumure selon norme	0.8	16	0.7	49	1.0	10	180	32	98	20
Besoin net corrigé d'éléments nutritifs pour le secteur maraîcher de l'exploitation													510	122	428	56

Prise en compte de l'analyse de terre N_{\min} dans la culture de chou de garde :		Apports de N
Fumure de fond		80 kg N/ha
Fumure de couverture		
Valeur indicative pour la 4e semaine de culture (0-60 cm)	190 kg N/ha	
Mesure faite la 4e semaine de culture (0-60 cm)	-50 kg N/ha	
Différence = apport supplémentaire nécessaire (1 apport ou répartition en 2)	140 kg N/ha	140 kg N/ha
Fumure N totale (fond + couverture)		220 kg N/ha
Remarque: L'apport de N dépassera de 30 kg par ha le besoin net de la culture. Cette quantité peut être comptabilisée dans le calcul du bilan de fumure.		

6. Fumure calcique

Le calcium et le magnésium contenus dans les engrais calciques exercent dans le sol une fonction de liant entre les particules argileuses et organiques. De cette manière, ils contribuent à augmenter la stabilité des agrégats et à améliorer la structure des sols. La richesse du sol en calcaire est étroitement liée à son acidité (valeur pH). Le pH de la solution du sol augmente avec la teneur de calcaire. Autrement dit, la réaction du sol passe alors dans le domaine alcalin.

La valeur pH exerce une influence sur la disponibilité de la plupart des éléments nutritifs nécessaires aux plantes, particulièrement du phosphore, du magnésium et de divers oligo-éléments. La disponibilité du phosphore aux plantes est la meilleure pour des valeurs pH dans la plage légèrement acide à neutre. Dans les sols alcalins, une grande partie du phosphore est présente sous forme de phosphates calciques peu solubles. La disponibilité aux plantes des oligo-éléments fer, manganèse, bore, zinc et cuivre diminue avec l'augmentation du pH, mais celle du molybdène augmente par contre. Une acidification du sol s'accompagne d'une amélioration notable de la solubilité du manganèse et de l'aluminium, ce qui peut entraîner dans les sols détremés l'apparition de symptômes de toxicité chez les espèces sensibles comme les laitues.

6.1. Chaulage d'entretien

La teneur de calcaire de la couche superficielle du sol baisse naturellement si l'on n'en ajoute pas régulièrement. Dans les sols neutres à légèrement acides, l'apport d'engrais minéraux, de ferme ou de déchets contenant du calcaire ou dont l'effet est alcalinisant contribue substantiellement à la stabilisation du pH dans une plage optimale. Si nécessaire, on ajoutera sporadiquement de petites quantités de chaux (= chaulage d'entretien).

6.2. Amendement calcaire

Les sols dont le pH est trop acide pour être considéré comme optimal pour le type de sol considéré, exigent un amendement calcaire approprié. Il ne faut cependant pas oublier qu'un chaulage excessif peut compromettre la disponibilité aux plantes des éléments phosphore, fer, manganèse, bore, zinc et cuivre. L'importance du chaulage nécessaire peut être estimée sur la base du pH et de la teneur en argile du sol (tableau 6). La détermination de la saturation des sites alcalins permet une évaluation plus exacte du chaulage à appliquer.



L'application de chaux vive peu avant le début de la culture diminue la pression d'infestation de l'hernie du chou dans les cultures de différentes espèces de brassicacées.

Tableau 6: Evaluation sommaire des apports de chaux aux fins d'amendement en cultures maraîchères de plein champ, compte tenu de la teneur d'argile et du pH (source : DBF 2009)

Teneurs d'argile, de matière organique	pH du sol	Chaulage (q ou dt CaO/ha)
<10% d'argile	< 5.3	20
	5.3-5.8	15
	5.9-6.2	10
	> 6.2	0
10-30% d'argile	< 5.3	30
	5.3-5.8	25
	5.9-6.2	20
	> 6.2	0
>30% d'argile	< 5.3	35
	5.3-5.8	30
	5.9-6.7	25
	> 6.7	0
>10% de matière organique		0

7. Fumure foliaire

Les feuilles peuvent absorber partiellement, par leurs pores, les substances nutritives en solution dans un film aqueux à leur surface. La fumure foliaire consiste à déposer à la surface des plantes des éléments fertilisants, en quantités faibles comparées à celles fournies par le sol.

La tolérance des plantes à la fumure foliaire dépend largement de la concentration utilisée et des conditions météorologiques peu avant et peu après l'application. Lorsqu'un temps sec et chaud suit une période humide, la plupart des cultures sont particulièrement sensibles à l'application foliaire d'engrais. Il vaut alors mieux renoncer à la fumure foliaire, ou alors réduire la concentration de la solution nutritive. Le traitement doit se faire autant que possible durant les heures plus fraîches de la soirée.

Si l'on mélange des engrais foliaires à une bouillie de produits phytosanitaires, il faut vérifier d'abord la miscibilité de l'engrais foliaire avec les produits utilisés. Si elle n'est pas assurée, la bouillie précipitera rapidement. L'application combinée d'engrais foliaires et de produits phytosanitaires comporte habituellement un risque élevé de dégâts à la culture par phytotoxicité. Il faut en tous cas tenir compte des instructions d'utilisation émises par les fabricants des produits.

7.1. Macro-éléments

Dans le cas des éléments principaux (macro-éléments), la quantité d'éléments fournie à chaque application est faible par rapport aux besoins de la culture. Pour les éléments N, P, K, Ca et Mg, la fumure foliaire ne peut couvrir qu'une petite partie des besoins nutritifs. Elle convient donc dans les situations critiques pour éviter des carences à court terme. Dans les périodes où les conditions météorologiques diminuent l'absorption d'éléments nutritifs par les racines, la fumure foliaire représente une mesure susceptible de « tenir » jusqu'à l'amélioration de la situation. L'application d'urée sous forme liquide peut contribuer à éviter une carence d'azote en périodes sèches sur des parcelles où les possibilités d'irrigation sont limitées. Pour éviter les brûlures au feuillage, la concentration d'urée dans la bouillie ne doit pas dépasser 0.4%. Les diverses espèces de légumes présentent des différences notables de tolérance à l'urée. L'application combinée d'urée et de produits phytosanitaires est particulièrement risquée.

L'apport de calcium (chlorure de calcium, nitrate de calcium) sur les parties aériennes des plantes est une mesure fréquemment appliquée chez les espèces de légumes sujettes à la carence en calcium (tomate, poivron, diverses espèces de salades, chou de Chine). Il s'agit de limiter les pertes de rendement qualitatif et quantitatif dans les conditions favorisant une forte croissance. Le calcium ne migre pas des parties âgées des plantes vers celles plus jeunes, fortement consommatrices de calcium. Il est donc important que les organes jeunes et les fruits en développement soient bien mouillés lors du traitement.

Une carence magnésienne peut se manifester dans les cultures de diverses espèces de brassicacées, de haricot, de tomate et de concombre sur les sols légers faiblement pourvus de Mg et lorsque la disponibilité de K est élevée. Les dégâts peuvent être limités à court terme par des traitements foliaires avec du sulfate de magnésie (Sel d'Epsom).

7.2. Oligo-éléments

Lorsque le pH des sols est défavorable, la fumure foliaire est un traitement de choix pour les oligo-éléments, en raison de son effet relativement rapide et indépendant du sol (tableau 7, page 21). La fumure foliaire est la manière la plus efficace de traiter à court terme des troubles nutritifs. Elle n'est toutefois valable à long terme que sur des sols dont le pH ne peut pas être amené durablement dans une plage optimale par une stratégie de fumure adaptée.



Les traitements foliaires aux engrais calciques s'ajoutent à une irrigation et une fertilisation équilibrées pour prévenir la nécrose apicale des fruits de tomate.



Les traitements foliaires aux engrais calciques ne peuvent avoir un effet contre la nécrose du coeur que si les jeunes feuilles, plus sujettes à cette affection, sont suffisamment mouillées.

Tableau 7: Récapitulatif de la signification et de l'utilisation des oligo-éléments en cultures maraîchères

Élément	Carence surtout chez les espèces et dans les conditions suivantes :	Formes fréquentes d'utilisation	Prescriptions d'utilisation <i>Les indications des fabricants doivent être respectées pour le dosage des engrais contenant des oligo-éléments sur les différentes cultures.</i>
Fer (Fe)	Diverses cultures précoces sur sols lourds, ainsi que sur sols alcalins et calcaires parfois détrempés.	Sulfate de fer, Chélate de fer	L'efficacité du sulfate de fer par le sol est fortement réduite lorsque le pH est alcalin.
Manganèse (Mn)	Oignon, pomme de terre, haricot, concombre, épinard et laitue sur sols organiques et alcalins.	Sulfate de manganèse, Chélate de manganèse	Le sulfate de manganèse n'a que peu d'efficacité par le sol si le pH est neutre à alcalin. Dans ces conditions, il faut privilégier la fumure foliaire. La disponibilité du manganèse est nettement augmentée lorsque le pH est acide. Une toxicité au manganèse peut se produire dans les sols lourds et bien pourvus de manganèse. L'humidité stagnante peut aussi entraîner une solubilisation excessive de manganèse.
Bore (B)	Betterave à salade, céleri-pomme, épinard, bette à côtes, chou-fleur, brocoli et chou-rave sur sols alcalins et en conditions de sécheresse.	Borax ou Acide borique	Appliquer en foliaire si le pH du sol est élevé et par sécheresse persistante.
Zinc (Zn)	Les espèces les plus sensibles à la carence en zinc sont le haricot, l'oignon et l'épinard.	Sulfate de zinc, Chélate de zinc	Les symptômes de carence en zinc sont très rares dans les cultures de légumes. Elles peuvent se manifester dans des sols de pH élevé. Il n'y a pas de mesures particulières à prendre pour l'enrichissement en zinc.
Cuivre (Cu)	On connaît bien les symptômes de carence en cuivre sur oignon, carotte, laitue, betterave à salade et épinard.	Sulfate de cuivre, Oxychlorure de cuivre, Chélate de cuivre	La carence en cuivre est plutôt rare en cultures maraîchères. Elle se manifeste le plus fréquemment dans des sols sableux ou dans des sols alcalins à teneur élevée de matière organique. Les sols sur lesquels les cultures ont été fréquemment traitées avec des fongicides cupriques ont des teneurs élevées de cuivre.
Molybdène (Mo)	Le chou-fleur est une culture indicatrice typique de la carence en molybdène, qui peut se manifester occasionnellement aussi chez d'autres brassicacées comme le chou-rave. La carence en molybdène apparaît principalement sur les sols acides.	Molybdate de sodium et d'ammonium	Sur sols acides, en culture de chou-fleur: fumure foliaire pour le traitement de la carence aiguë en molybdène.



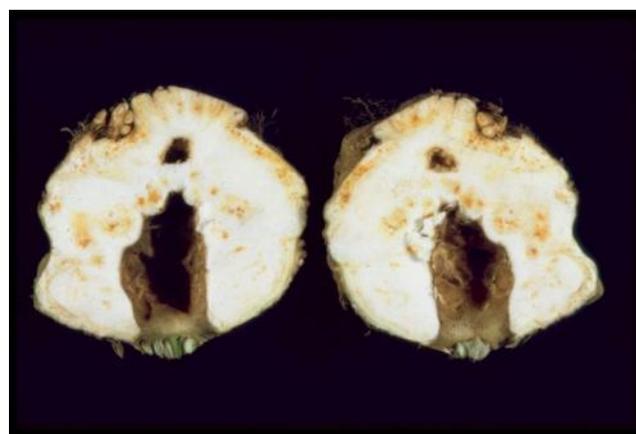
Carence en fer sur tomate.



Début de carence en manganèse sur concombre.



Pourriture du coeur consécutive à une carence en bore sur céleri-pomme.



Symptômes de carence en bore dans le coeur de pommes de céleri.



Pommes de chou-rave atteintes de carence en bore.



Limbes foliaires rétrécies en cuiller sur chou-fleur, en raison d'une carence en molybdène.

8. Récapitulatif des principaux engrais

Ce chapitre présente un récapitulatif sommaire des engrais de ferme et de déchets, ainsi que des engrais minéraux les plus importants. La liste des engrais minéraux en particulier ne prétend pas à l'exhaustivité.

8.1. Engrais de ferme et de déchets

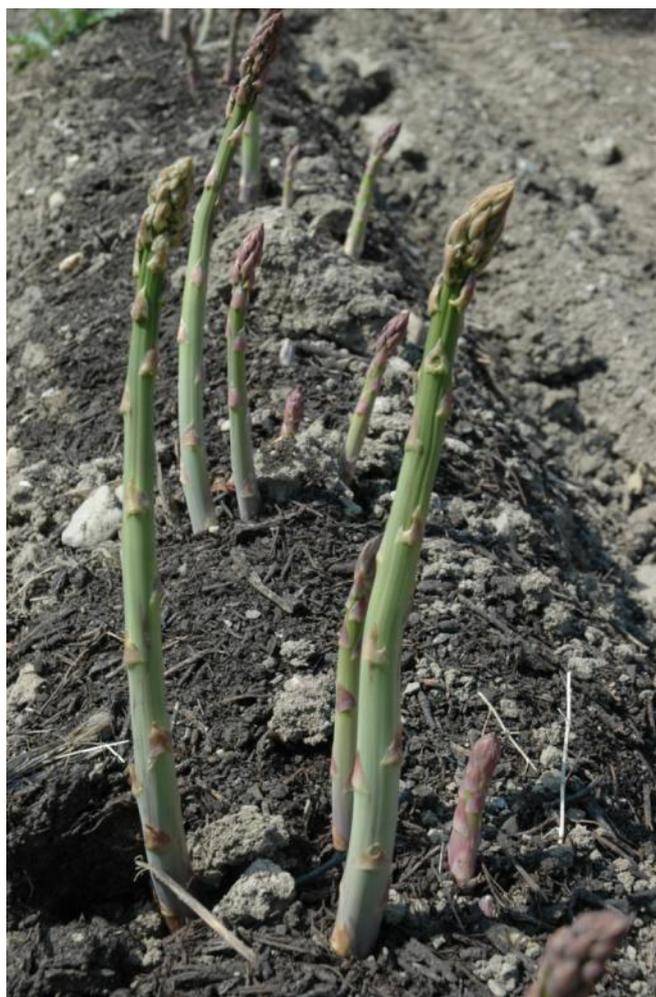
(Source: Données de base pour la fumure des grandes cultures et herbages DBF 2009)

Ce n'est pas seulement pour leur efficacité fertilisante que les engrais de ferme et de déchets sont intéressants en cultures maraîchères. Par l'apport de matière organique, ils contribuent aussi à l'amélioration de la structure du sol.

Le tableau 8 (page 24) présente les teneurs moyennes de matière organique et d'éléments nutritifs des diverses sortes d'engrais de ferme. L'intensité d'affouragement influence les teneurs de fertilisants des engrais de ferme. Les valeurs indicatives sont cependant fixées de telle manière que des corrections s'imposent seulement dans des conditions particulières. Dans le cas d'apport d'engrais de ferme, c'est toujours l'azote total (N_{tot}) qui est introduit dans Suisse-Bilanz. Dans la suite du calcul, cette valeur est multipliée par le degré d'utilisation spécifique de l'exploitation.

Pour les déchets de tourbe et pour les soldes de solutions nutritives des exploitations pratiquant la culture sur substrats, on peut rencontrer dans des cas particuliers des écarts dans les teneurs de fertilisants. En cas de doute, il faut avoir recours à des analyses de laboratoire.

Les digestats et le compost par exemple font partie des engrais de déchets. Dans le cas du compost, les matières végétales et les déjections animales subissent une dégradation aérobie, alors que les digestats sont produits en anaérobie (fermentation en absence d'air). Les teneurs d'éléments nutritifs des engrais de déchets peuvent varier selon les matières de départ et les processus de transformation. C'est pourquoi, si l'on utilise des composts ou des digestats, il faut absolument tenir compte dans la planification de la fumure des teneurs indiquées sur le bulletin de livraison. Pour les engrais de déchets, on introduira dans Suisse-Bilanz l'azote assimilable ($N_{assim.}$).



L'utilisation de compost bien décomposé contribue à l'amélioration de la structure du sol et à la vitalité des cultures de légumes occupant le sol durant plusieurs années, comme l'asperge.

Tableau 8: Teneur d'éléments nutritifs des engrais de ferme, des déchets non traités de la production végétale et des engrais de déchets

Ce tableau est un résumé des tableaux 39 et 42 des DBF 2009, qui font foi en cas de doute.

		Teneur de substance sèche (SS), de substance organique (SO) et d'éléments nutritifs de divers engrais de ferme, déchets de productions maraîchères et engrais de déchets en kg / unité							
	Unité	SS	SO	N _{tot}	N _{assim}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	Ca
Vaches laitières/élevage									
Lisier ①	m ³	90	70	4.3	2.2-3.0	1.8	8.0	0.5	2.0
Lisier pauvre en excréments ①	m ³	75	40	4.9	3.2-4.2	1.2	11.6	0.5	1.3
Fumier bovin au tas ②	t	190	150	4.9	1.0-2.0	3.2	6.6	0.8	3.7
Fumier bovin, stabulation ②	t	210	175	5.3	1.3-2.5	2.2	10.8	0.7	2.7
Engraissement de bovins									
Lisier ①	m ³	90	65	4.3	2.2-3.0	1.7	5.2	0.7	1.3
Fumier de stabulation ②	t	210	155	5.4	1.3-2.5	2.3	8.9	0.9	2.3
Veaux									
Fumier, veaux ②	t	200	150	5.3	1.3-2.5	2.3	5.5	0.3	1.0
Chevaux									
Fumier équin frais ②	t	350	300	4.4	0.3-0.8	2.5	9.8	0.6	2.5
Fumier équin ②	t	350	240	6.8	0.7-1.8	5.0	19.5	1.3	5.0
Moutons/chèvres									
Fumier ovin/caprin ②	t	270	200	8.0	3.2-4.8	3.3	16.0	1.2	4.7
Porcs									
Lisier porcin, engraissement	m ³	50	36	6.0	3.0-4.2	3.8	4.4	0.6	1.3
Lisier porcin, élevage	m ³	50	33	4.7	2.4-3.3	3.2	3.2	0.5	2.0
Fumier porcin ②	t	270	210	7.8	3.1-4.7	7.0	8.3	1.2	4.7
Volailles									
Crottes de poule (tapis roulant) ②	t	350	250	21	8.4-12.6	17	11	2.4	37
Fumier de poule (fosse à déjections ou poule au sol) ②	t	500	330	27	11-16	30	20	4.3	65
Fumier de poulette ②	t	500	430	30	12-18	26	15	3.1	14
Fumier de poulet ②	t	650	440	34	14-21	20	28	5.6	3.8
Fumier de dinde ②	t	600	400	28	12-18	23	13	6.0	12
Déchets végétaux									
Déchets de préparation de légumes, apport 1 m ³ = 300-400 kg matière fraîche	m ³	-	-	0.8	0.6	0.3	1.0	0.05	-
Substrats de culture sur tourbe	m ³	-	-	-	0.4	0.3	0.4	0.1	-
Soldes de solutions nutritives (culture de tomate sur substrat)	m ³	-	-	0.37	0.37	0.12	0.6	0.12	-
Engrais de déchets									
Digestat solide ③	t	490	235	6		3	5	3	25
Digestat liquide ③	t	130	61	4		2	4	1	5
Compost ④	t	510	214	7	0.35-0.7	3	5	3	25

Légendes des notes de bas de page

- ① Toutes les teneurs des lisiers se rapportent à des lisiers non dilués. Les quantités d'eaux d'évacuation de l'exploitation doivent être prise en considération. Comme la dilution réelle est difficile à déterminer, il est recommandé d'utiliser un appareil permettant la détermination rapide de l'azote dans le lisier. En cas de doute, les teneurs calculées sur la base des tableaux 37 et 38 des DBF font foi.
- ② Lorsque rien d'autre n'est indiqué, les valeurs se rapportent à un degré moyen de dégradation.
- ③ Se rapporte à des digestats provenant d'installations industrielles/commerciales de traitement. Comme la base de données actuelles est encore restreinte, il n'est pas encore possible de donner des valeurs pour les digestats solides et liquides provenant d'installations agricoles de traitement par fermentation.
- ④ Composts de déchets ménagers et de jardin. Valeur médiane de divers procédés et degrés de dégradation (composts frais, mûrs, au champ etc.), masse volumique 500 – 800 kg/m³.

8.2. Engrais du commerce

Le tableau 9 ci-dessous présente les principaux engrais simples. Il n'est pas possible dans le cadre de ce document de présenter tous les engrais complets du commerce. Les te-

neurs indiquées figurent sur les déclarations de marchandise (étiquettes des emballages, bulletins de livraison) des firmes productrices des engrais.

Tableau 9: Teneurs d'éléments nutritifs (fertilisants) des engrais du commerce

Engrais	Éléments purs (%)				Remarques
	N total (N _{NO3})	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	
Engrais minéraux azotés					
Nitrate de chaux	15.5 (15.5)				Très rapidement disponible, effet alcalinisant
Nitrate d'ammonium	27.5 (13.75)				Rapidement disponible, effet pH neutre
Nitrate d'ammonium calcium	26 ¹⁾ (13)				Rapidement disponible, effet alcalinisant. ¹⁾ selon la proportion de calcium en mélange
Nitrate d'ammonium boriqué	27 ¹⁾ (13.5)				Rapidement disponible, effet pH neutre, 0.5% de bore ¹⁾ les teneurs d'éléments nutritifs dépendent des proportions du mélange
Nitrate d'ammonium magnésien	27 ¹⁾ (13.5)			3 ¹⁾	Rapidement disponible, effet pH neutre, Mg sous forme de sulfate (fertilisation soufrée secondaire). ¹⁾ les teneurs d'éléments nutritifs dépendent des proportions du mélange
Sulfate d'ammonium	21				Rapidité moyenne de la disponibilité, effet acidifiant, 24% de soufre
Urée	46				Plutôt lentement disponible, effet légèrement acidifiant
Cyanamide calcique	20				Libération lente de l'azote, alcalinisant, toxique pour les adventices à la levée et pour les cultures de légumes en croissance. Utilisation pour réduire la pression d'infection de maladies liées au sol comme l'hernie du chou. Un délai d'attente peut être indispensable selon l'espèce de légume!
ENTEC 26	26				Efficacité durable due à l'ajout d'un inhibiteur de nitrification, effet acidifiant, contient 13% de soufre
Engrais phosphorés					
Superphosphate		18			Contient 12% de soufre
Superphosphate triple		46			
Engrais potassiques					
Sel 60			60		Ne convient pas aux espèces sensibles aux chlorures
Korn-Kali			40	3.6	Ne convient pas aux espèces sensibles aux chlorures, contient 4% de soufre
Sulfate de potasse			50		Exempt de chlore, contient 18% de soufre
Patentkali, potasse magnésienne			30	6	Exempt de chlore, contient 17% de soufre
Engrais magnésiens					
Kiesérite				15	Contient 20% de soufre
Sulfate de magnésie (Sel d'Epsom)				9.8	Contient 13% de soufre

Engrais	Éléments purs (%)				Remarques
	N total (N _{NO3})	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	
Engrais contenant du calcium					
Chaux vive					Corrosif, effet rapidement alcalinisant, effet désinfectant du sol. Application sur espèces de brassicacées tolérantes au calcaire, quelques jours avant le début de la culture. Effet inhibiteur sur l'hernie du chou.
Dolomie				12.5	Alcalinisant, effet à long terme
Calcaire (carbonate de calcium)					Alcalinisant, effet à long terme
Chaux d'algues marines				2.8	Alcalinisant, effet à long terme
Chaux d'Aarberg	0.3	1		0.5	Alcalinisant, effet à long terme, contient 10% de substance organique
Engrais boriqués					
Borax					Contient 14.5 % de bore

9. Bibliographie

Bergmann W., 1993. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, Gustav Fischer Verlag Jena – Stuttgart.

Finck A., 1979. Dünger und Düngung – Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen, Verlag Chemie Weinheim – New York.

Sinaj S., Richner W., Flisch R., & Charles R., 2009. DBF-GCH 2009 – Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages, Revue suisse d'agriculture 41 (1).

Forschungsanstalten Agroscope, 1996. Schweizerische Referenzmethoden der Eidg. landwirtschaftlichen Forschungsanstalten. Band 1, Boden- und Substratuntersuchungen zur Düngeberatung.

Gysi C., Ryser J.-P. & Heller W., 1997. Bodenuntersuchung im Gemüsebau, Flugschrift der Eidg. Forschungsanstalt Wädenswil Nr. 122.

Neuweiler R., Sigg P., Freund M., Wigger A., Koller M. & Moos D., 2008. Düngung, Handbuch Gemüse 85 - 110.

Schachtschabel P., Blume H.-P., Hartge K.-H. & Schwertmann U., 1984. Lehrbuch der Bodenkunde, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart.

Trott H., 2007. Mikronährstoffe, Broschüre Bundesarbeitskreis Düngung (BAD), Frankfurt am Main.

Wonneberg C. & Keller F., 2004. Gemüsebau, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.

Vogel G., 1996. Handbuch des speziellen Gemüsebaues, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.



Verband schweiz. Gemüseproduzenten
Union maraîchère suisse
Unione svizzera produttori di verdura

Exigences minimales en matière de fumure pour la production selon les directives PER, SUISSE GARANTIE, Bio et SwissGAP

PER

Analyse du sol:

Analyse de toutes les parcelles au moins tous les 10 ans par un laboratoire accrédité pour les prestations écologiques requises dans les cultures spéciales (tableau 10): à côté de la méthode à l'acétate d'ammonium (AA-EDTA) exigée jusqu'à présent, la méthode de l'extraction à l'eau (H₂O) est aujourd'hui également reconnue. Sur les sols calcaires présentant un pH > 6.8, les résultats de l'analyse effectuée avec la méthode à l'acétate d'ammonium ne peuvent pas être évalués correctement pour la planification de la fumure. La méthode de l'extraction à l'eau est donc appliquée dans de tels cas pour les conseils de fumure.

Bilan nutritif global:

Calcul selon Suisse-Bilan; bilan nutritif global équilibré pour N et P avec un écart toléré d'au maximum +10%.

Depuis le 1^{er} août 2010, les échantillons du sol ne sont plus pris en compte dans le bilan. Il est tenu compte des besoins nets en substances nutritives de toutes les cultures. Si une exploitation souhaite faire valoir un écart de plus de 10%, les besoins supplémentaires doivent être justifiés au moyen d'un plan de fumure pour la parcelle et la culture basé sur les résultats d'une analyse du sol effectuée par un laboratoire accrédité.

Correction des besoins en P sur la base des analyses du sol complétées par le plan de fumure pour la parcelle et la culture mentionné ci-dessus.

Correction des besoins en N uniquement sur la base d'analyses N_{min} (liste des laboratoires N_{min} dans le tableau 11) complétées par le plan de fumure pour la parcelle et la culture mentionné ci-dessus pour les autres substances nutritives.

Journal de fumure:

Pour chaque parcelle avec date d'épandage, type d'engrais (engrais minéral ou organique, engrais de ferme, compost, engrais foliaire) et quantité d'engrais.

Particularités concernant l'utilisation des engrais: Aucunes directives particulières.

SUISSE GARANTIE

Analyse du sol:

Les dispositions des PER sont valables. En principe, une analyse du sol doit être effectuée au moins tous les 10 ans.

Commentaire: Un échantillonnage est conseillé tous les 5 ans pour les cultures sensibles, des problèmes liés à un déséquilibre de l'approvisionnement en substances nutritives pouvant surgir dans la culture.

Bilan nutritif global:

Les dispositions des PER sont valables.

Journal de fumure:

Les dispositions des PER sont valables.

Particularité concernant l'utilisation des engrais:

Pas d'apport individuel d'azote dépassant 60 kg N-NO₃/ha (azote nitrique).

L'utilisation de boues d'épuration (sur les surfaces agricoles utiles) est interdite.

Bio (label BIO SUISSE)

Analyse du sol:

Tous les 10 ans (comme pour les PER); échantillonnage du sol recommandé tous les 4 ans; fumure minérale complémentaire avec de la potasse sur justification des besoins avec une analyse actuelle du sol (ne datant pas de plus de 4 ans).

Bilan nutritif global:

Selon Suisse-Bilan ou calcul équivalent; bilan nutritif équilibré pour N et P avec un écart toléré de 10% pour P. L'azote provenant d'engrais organiques commerciaux est considéré comme disponible à hauteur de 70% dans le bilan nutritif.

Le compost, les eaux de presse (ou les engrais solides et liquides de recyclage) et l'engrais de ferme sont soumis à des exigences qualitatives plus élevées (p. ex. teneurs en métaux lourds plus basses que pour les PER) et ne peuvent être transportés que sur une distance de 20 à 80 km à vol d'oiseau selon la catégorie.

Particularités concernant l'utilisation des engrais:

Pas d'engrais azotés minéraux, phosphates solubles et engrais potassiques chlorés. En culture en pleine terre, la fumure est limitée à 135 kg N_{verf}/ha en moyenne de la surface fertilisable. L'approvisionnement de base avec de l'azote provenant d'engrais de ferme, de compostes de déchets verts et de résidus de fumure de trèfles graminées et d'engrais verts est prioritaire. Les engrais organiques commerciaux de N sont surtout utilisés en complément au printemps et dans les cultures nécessitant de l'azote.

SwissGAP

Recommandations concernant le type et la quantité de la fumure:

La personne responsable dispose des compétences spécialisées nécessaires.

Journal de fumure:

Les dispositions des PER sont valables. De plus, la méthode d'épandage (outil) et l'utilisateur (nom ou abréviation) doivent être indiqués pour chaque utilisation.

Entretien des machines:

Les machines utilisées pour l'épandage d'engrais doivent être en bon état. Les documents concernant les réparations doivent être disponibles.

Entreposage des engrais:

Les engrais doivent être entreposés séparément des fruits, des légumes et des plants. Les engrais anorganiques sont à stocker proprement dans des locaux bien aérés à l'abri des conditions climatiques, de l'eau de pluie et/ou de l'eau de condensation ainsi que des déchets et séparément des produits phytosanitaires. Des cuvettes de rétention sont obligatoires pour l'entreposage d'une quantité d'engrais liquide dépassant 1000l. Un inventaire doit être établi chaque année. Les engrais organiques doivent être stockés selon les dispositions de la protection des eaux.

Particularités concernant l'utilisation des engrais:

L'utilisation des boues d'épuration est interdite sur les surfaces agricoles utiles.

L'apport de substances nutritives de tous les engrais doit être pris en compte. La teneur des engrais organiques est connue (valeurs de référence, analyses). Les engrais anorganiques achetés sont accompagnés d'un document justifiant de leur composition chimique (étiquettes, bulletins de livraison).

Tableau 10: Liste des laboratoires accrédités pour les prestations écologiques requises (PER) dans les cultures spéciales et recommandés pour les conseils en fumure (période de culture 2010/2011).

Sol Conseil , CP 188, 1260 Nyon ^{1,2,3}
Labor Ins AG , Industriestrasse 13, 3210 Kerzers ^{1,2,3}
Ibu – Labor für Boden- und Umweltanalytik , Postfach 150, 3602 Thun ^{1,2,3}
LBBZ Arenenberg , Bodenlabor, 8268 Salenstein ^{1,2}
École d'ingénieurs de Lullier , Laboratoire des sols, 1254 Jussy ^{1,2}
Agrilogie , Grange-Verney, 1510 Moudon ¹
Hauert & HBG Dünger AG , Wilerstrasse 2, 3262 Suberg ¹
Jardin Suisse , Beratungsdienst, 3425 Oeschberg-Koppigen ¹

¹ Valeur du pH, C_{org} (humus), teneur en P et K dans l'acétate d'ammonium +extraction EDTA (AAE10) ainsi que teneur en P et K dans l'extraction à l'eau (H2O10)

² Conseils en fumure pour les cultures spéciales

³ Evaluation du site: valeur du pH, C_{org} (humus), granulation (argile, limon, sable) pour la caractérisation du sol

Tableau 11: Liste des laboratoires N_{min}

École d'ingénieurs de Lullier , Laboratoire des sols, 1254 Jussy
Sol Conseil , CP 188, 1260 Nyon
Agrilogie , Grange-Verney, 1510 Moudon
Haute école suisse d'agronomie , Länggasse 85, 3052 Zollikofen
Labor Ins AG , Industriestrasse 13, 3210 Kerzers
Hauert & HBG Dünger AG , Wilerstrasse 2, 3262 Suberg
Ibu – Labor für Boden- und Umweltanalytik , Postfach 150, 3602 Thun
Albert Schmid , Im Junkholz 20, 4303 Kaiseraugst
AgroLab Swiss GmbH (Schneiter Agro), Oberfeld 3, 6037 Root
LBBZ Arenenberg , Bodenlabor, 8268 Salenstein