

En collaboration avec:

- Deutschschweizer Obstbaukommission Boden und Düngung
- Commission romande des fumures, sous-commission arboricole
- Institut de Recherche en Agriculture Biologique (IRAB)
- Groupe de coordination Sol et Fertilisation (GSF) des Stations Fédérales

Données de base pour la fumure en arboriculture fruitière

Fruits à pépins, fruits à noyau, kiwis, baies d'arbustes

Lukas Bertschinger, Christian Gysi, Andi Häseli, Reto Neuweiler, Werner Pfammatter, Jean-Pierre Ryser, Andi Schmid, Franco Weibel



Auteurs

1	Introduction	Lukas Bertschinger, Christian Gysi
2	Principes de nutrition des cultures	Christian Gysi, Lukas Bertschinger
3	Offre naturelle d'éléments fertilisants et fertilité du sol	Jean-Pierre Ryser, Christian Gysi, Franco Weibel, Lukas Bertschinger
4	Evaluation du site	Jean-Pierre Ryser, Lukas Bertschinger, Christian Gysi
5	Fumure: normes, techniques, engrais	Jean-Pierre Ryser, Christian Gysi, Reto Neuweiler
6	Equilibre entre les besoins nutritifs et la fumure	Christian Gysi
7	Fumure, qualité du fruit et équilibre physiologique	Lukas Bertschinger, Reto Neuweiler
8	Fumure et environnement	Jean-Pierre Ryser
9	Fumure des vergers extensifs	Christian Gysi, Lukas Bertschinger
10	Particularités de la fumure en arboriculture biologique	Franco Weibel, Andi Häseli, Andi Schmid
11	Glossaire	Christian Gysi, Lukas Bertschinger
12	Bibliographie	

Membres des commissions concernées

- Commission romande des fumures, sous-commission arboricole: Charly Evéquo, Christian Keimer, Pascal Mayor, Werner Pfammatter (président), Robert Poitry, Dominique Ruggli.
- Deutschschweizer Obstbaukommission Boden und Düngung: Lukas Bertschinger (président), Armin Bonauer, Othmar Eicher, Klaus Gersbach, Christian Gysi, Urs Müller.

Les données de base pour la fumure en arboriculture fruitière sont rédigées périodiquement selon nécessité par les Stations Fédérales de Wädenswil et Changins dans le cadre des tâches légales de ces instituts.

IMPRESSUM

Edition:	Eidgenössische Forschungsanstalt, Postfach 185, CH-8820 Wädenswil, www.faw.ch Eidgenössische Forschungsanstalt, Case postale 254, CH-1260 Nyon
Rédaction:	Lukas Bertschinger, Christian Gysi, Werner Pfammatter, Jean-Pierre Ryser
Layout et impression:	Stutz Druck AG, Postfach 750, CH-8820 Wädenswil, téléphone +41 1 783 99 11, téléfax +41 1 783 99 22
Fotos frontispice:	Christian Krebs, Reto Neuweiler, Peter Rusterholz, Albert Widmer (FAW)
Prix de vente 2003	CHF 7.-
Périodicité:	selon nécessité
Tirage:	1000 ex. en français, 2000 ex. en allemand
Réproduction:	Toute réproduction intégrale ou partielle seulement sous l'indication des sources.

1 Introduction	5	6 Equilibre entre les besoins nutritifs et la fumure	38
2 Principes de nutrition des cultures	7	6.1 Plan de fumure par parcelle	
2.1 Concepts et éléments fertilisants		6.2 Gestion globale des éléments nutritifs sur l'exploitation: Suisse-Bilanz	
2.2 Prélèvement d'éléments fertilisants		6.3 Précision des calculs de fumure, sa limite	
2.3 Du prélèvement d'éléments fertilisants au besoin (norme) à la fumure		7 Fumure, qualité du fruit et équilibre physiologique	39
2.4 Dynamique du besoin en éléments fertilisants et réapprovisionnement		8 Fumure et environnement	40
3 Offre naturelle d'éléments fertilisants et fertilité du sol	11	9 Fumure des vergers extensifs	40
3.1 Réapprovisionnement en éléments nutritifs par le sol, fertilité du sol		10 Particularités de la fumure en arboriculture biologique	41
3.2 Approvisionnement en éléments fertilisants à partir du mulch et des engrais organiques		10.1 Principes	
3.2.1 Entretien de la matière organique		10.2 Garde-fous de la fumure bio	
3.2.2 Sources de matière organique		10.3 Humus	
3.3 Réapprovisionnement en éléments fertilisants issus de l'atmosphère		10.4 Azote	
4 Evaluation du site	13	10.5 Phosphore	
4.1 Evaluation de la culture et du sol		10.6 Potassium	
4.1.1 Critères d'adaptation de la fumure aux cultures fruitières spécifiques		10.7 Calcium	
4.1.2 Antagonismes et synergismes		10.8 Magnésium	
4.1.3 Carences et troubles physiologiques		10.9 Oligoéléments, fumure foliaire en Ca, Mg et fortifiants	
4.1.4 Evaluation du sol à l'aide de son profil		10.10 Amendements du commerce	
4.1.5 Evaluation globale d'un site		11 Glossaire	44
4.2 L'analyse du sol		12 Bibliographie	46
4.2.1 Fréquence et type d'analyse du sol			
4.2.2 Prises d'échantillons du sol quand et comment?			
4.2.3 Laboratoires d'analyse du sol			
4.2.4 Interprétation des résultats de l'analyse du sol			
4.3 Le diagnostic foliaire			
4.3.1 But et possibilités d'utilisation de l'analyse foliaire			
4.3.2 Directives pour le prélèvement			
4.3.3 Interprétation			
4.3.4 Autres mesures et possibilités d'utilisation			
4.4 Analyse de la fleur, du bourgeon et du fruit			
5 Fumure: normes, techniques, engrais	24		
5.1 Norme et facteurs de correction en fonction des besoins et du terrain			
5.1.1 Azote			
5.1.2 Phosphate, potassium et magnésium			
5.1.3 Bore			
5.1.4 Autres éléments			
5.2 Technique et époque de la fertilisation			
5.2.1 Epandage sur la ligne d'arbres ou épandage sur toute la surface			
5.2.2 Fractionner l'apport d'éléments très mobiles			
5.2.3 Epoque et fréquence des apports d'azote			
5.2.4 Application et époque de la fumure en phosphore, potassium et magnésium			
5.2.5 Fumure foliaire			
5.2.6 Engrais liquides, fertigation			
5.2.7 Fumure des jeunes plantations			
5.2.8 Apport par enfouissement			
5.2.9 Fumure de création ou de reconstitution			
5.3 Engrais du commerce, minéraux et organiques			
5.3.1 Liste des engrais du commerce			
5.3.2 Choix du type d'engrais minéral			
5.4 Engrais organiques			

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

- Tab. 1: Prélèvements des éléments fertilisants par les arbres fruitiers (pommiers) et répartition dans les différents organes (Batjer et al. 1952).
- Tab. 2: Prélèvements des éléments fertilisants sur différentes espèces fruitières.
- Tab. 3: Teneur totale et éléments fertilisants disponibles pour la plante dans les sols minéraux (jusqu'à 20 cm de profondeur; Hasler et Hofer 1975).
- Tab. 4: Propriétés du sol limitant les cultures fruitières et mesures palliatives
- Tab. 5: Analyses de sol en arboriculture (horizon 2 à 25 cm).
- Tab. 6: Barème d'interprétation du taux de matière organique selon le taux d'argile du sol en arboriculture.
- Tab. 7: Eléments nutritifs dans l'extrait AAE10 et facteur de correction des besoins en P, K, Mg et Ca selon les classes d'approvisionnement (fertilité du sol; VSGP et al. 2002, adapté à Walther et al. 2001).
- Tab. 8: Eléments nutritifs dans l'extrait d'eau et facteur de correction des besoins en P, K, Mg et Ca selon les classes d'approvisionnement (fertilité du sol; VSGP et al. 2002).
- Tab. 9: Chaulage (à l'oxyde de calcium (CaO) en kg CaO/ha et année) en fonction du pH et du calcium réserve du sol.
- Tab. 10: Mesure d'apports de chaux sur la base de la saturation basique et de la capacité d'échange des cations (CEC) du sol.
- Tab. 11: Références du diagnostic foliaire en arboriculture fruitière stade 75 à 105 jours après pleine floraison, les valeurs sont exprimées en % de la matière sèche.
- Tab. 12: Normes de fumure pour cultures fruitières en phase de pleine production pour les fruits à pépins, à noyaux et les baies en fonction du rendement (rendements usuels).
- Tab. 13: Correction de la fumure azotée en verger de fruits à pépins en phase de pleine production (valeurs correctives en kg/ha).
- Tab. 14: Correction de la fumure azotée en verger de fruits à noyau en pleine production (valeurs correctives en kg/ha).
- Tab. 15: Correction de la fumure azotée sur framboisiers – ronces.
- Tab. 16: Correction de la fumure azotée sur cassissiers, groseilliers et myrtilliers.
- Tab. 17: Correction de la fumure azotée sur kiwis.
- Tab. 18: Facteurs de corrections influençant la fumure P₂O₅, K₂O et Mg des fruits à pépins et à noyau, des baies d'arbustes et du kiwi.
- Tab. 19: Fumure annuelle en bore en fonction de l'état de fertilité du sol.
- Tab. 20: Corrections des carences: causes et mesures à envisager.
- Tab. 21: Fumure de création (exceptionnellement).
- Tab. 22: Teneurs en fertilisants de quelques engrais du commerce.
- Tab. 23: Sensibilité des cultures fruitières au chlore.
- Tab. 24: Propriétés de divers amendements calcaires (Walther et al. 2001).
- Tab. 25: Apport en calcium de quelques engrais.
- Tab. 26: Teneur en éléments nutritifs des engrais organiques (kg/t: engrais solides, kg/m³: engrais liquides).
- Tab. 27: Plan de fumure pour une culture de pommiers Golden Delicious avec un rendement de 50 t/ha, sur sol mi-lourd avec 3,6% de matière organique (exemple fictif, valeurs spécifiques à l'exemple en italique).
- Tab. 28: Variabilité des diverses opérations (± en %) de la fumure depuis le prélèvement des échantillons jusqu'à l'épandage de l'engrais (avis d'experts).
- Fig. 1: Règles pour la fumure durable des cultures fruitières en Suisse.
- Fig. 2: Relation entre les facteurs du prélèvement, besoin, norme et quantités d'éléments fertilisants contenus dans les engrais.
- Fig. 3: Détermination du besoin en azote (norme), adaptation à l'état des arbres et déduction de la quantité d'engrais azotés à épandre, compte tenu de l'apport d'azote mobilisé momentanément.
- Fig. 4: Détermination du besoin en éléments fertilisants (norme) pour P, K, Ca et Mg, adaptation aux résultats des analyses de sol et détermination de la quantité d'engrais à épandre, compte tenu de l'apport d'éléments nutritifs mobilisés momentanément.
- Fig. 5: Tendance de l'offre et de la demande d'éléments fertilisants n° 1: la demande est dictée par les processus de croissance (schéma de l'évolution annuelle du pommier en Europe centrale; selon Gruppe 1965).
- Fig. 6: Tendance de l'offre et de la demande d'éléments fertilisants n° 2: offre d'azote (mg/g matière foliaire sèche), mobilisé à partir de la charpente et d'azote contenu dans les engrais, dans les feuilles des branches fruitières des pommiers (selon Tagliavini et al. 1997).
- Fig. 7: Tendance de l'offre et de la demande d'éléments fertilisants n° 3: offre d'azote minéralisé entre 0 et 25 cm de profondeur, dans une ligne d'arbres enherbée avec lutte contre les adventices fin mars et avril. Indications en % d'une ligne d'arbres sans adventices dans une culture de pommiers à Wädenswil, 1993 (selon Gut et al. 1997).
- Fig. 8: Biomasse microbienne (mg de biomasse-carbone par 100 g de matière sèche du sol. Moyenne ± écart-type) dans les lignes d'arbres d'une culture de pommiers à Landquart au printemps 1996. Enherbé en hiver signifie «exempt d'adventices en avril-septembre» (Gut et al. 1997).
- Fig. 9: Profil du sol d'une culture fruitière: l'observation du profil pédologique permet de mieux évaluer le site et de prendre des mesures plus ciblées, lorsque c'est nécessaire. Creuser un profil s'avère donc utile (Foto: F. Fankhauser, FAW).
- Fig. 10: Dynamique des éléments fertilisants et méthodes d'extraction pour les analyses de sol.
- Fig. 11: Schéma de prélèvement des échantillons de terre.
- Fig. 12: Schéma des relations entre pH, facteurs pédogénétiques (locaux) et écologiques (la largeur des bandes détermine l'intensité des processus et la disponibilité des éléments nutritifs; Schroeder 1984).
- Fig. 13: Teneur optimale en azote dans la feuille au courant de la période de culture (jours après la pleine floraison) dans des cultures de pommiers au Tyrol du Sud de 1995 à 1998 (Aichner and Stimpfl 2001; Mantinger 2001).
- Fig. 14: Teneur en éléments fertilisants des feuilles de Golden Delicious sur M9, réseau Suisse romande, évolution de 1976 à 2000.
- Fig. 15: Corrélation entre les valeurs du N-tester et la teneur en azote des feuilles d'une culture fruitière de la variété Golden Delicious en Valais, 1999–2001 (Evequoz und Bertschinger 2001).
- Fig. 16: Coupe transversale schématique d'une culture fruitière avec ligne d'arbres et interligne.
- Fig. 17: Fumure liquide par diffuseur sur la ligne d'arbres (Photo Chr. Krebs, FAW).

Les systèmes de conduite des cultures fruitières commerciales ont évolué au cours des dernières années. C'est la raison principale qui a poussé à remanier entièrement l'édition des directives antérieures (Heller et al. 1993; Commission romande de fumure, sous-commission arboricole 1993, Ryser et al. 1995). L'évolution des variétés, des porte-greffes, des formes de culture et des systèmes de conduite influence la quantité totale de fumure dont une culture fruitière a besoin. Ces facteurs influencent également la répartition des éléments fertilisants sur les différents organes de la plante, ainsi que la quantité d'éléments fertilisants qui quitte le verger avec le produit de la récolte. La question se pose donc de savoir comment nourrir les cultures conformément à leurs besoins. Les systèmes de conduite sont devenus plus dynamiques, c.-à-d. qu'ils changent plus rapidement que par le passé. La culture commerciale s'adapte en permanence aux besoins actuels du marché, au progrès technique et aux conditions du site. L'objectif des productrices et producteurs fruitiers modernes est de produire des fruits de qualité optimale et d'atteindre un haut niveau de rendement en évitant l'alternance. La nutrition des arbres dans les cultures fruitières doit être flexible et adaptée aux conditions du site données ainsi qu'aux objectifs de production. La société exige par ailleurs que les systèmes de conduite ménagent le plus possible les ressources.

Quelles sont les nouveautés?

Les premières données de base techniques pour la fumure des cultures fruitières en Suisse sont désormais disponibles. Elles servent de support aux dispositions des prestations écologiques requises de l'Office fédéral de l'agriculture, ainsi qu'aux directives de la culture fruitière biologique et intégrée (fig. 1).

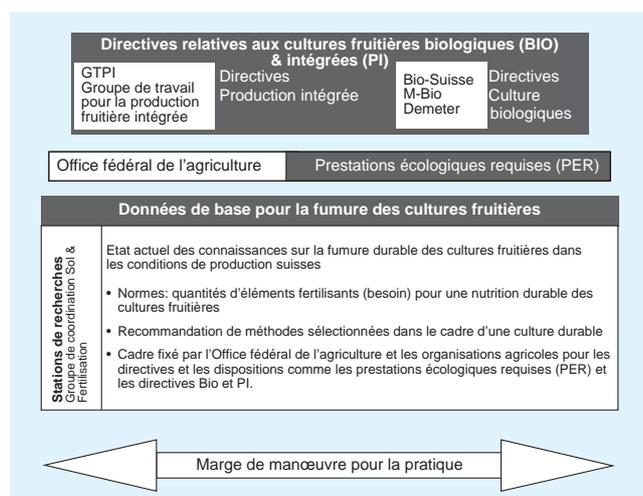


Fig. 1: Règles pour la fumure durable des cultures fruitières en Suisse.

Les *normes*¹ se rapportent désormais au niveau de rendement, car les rendements des cultures fruitières peuvent varier considérablement en fonction du site, de la stratégie de production (variété, porte-greffes, système de conduite, etc.). La fertilisation des *cultures commerciales* occupe le

premier plan. L'évolution importante des systèmes de culture de fruits à noyau a notamment été pris en compte.

Désormais, seule l'analyse de la couche superficielle du sol fait partie du standard minimal des analyses de sol. L'analyse du sous-sol n'est recommandée que dans des cas spéciaux. Suivant l'importance de l'enracinement, les échantillons de sol sont prélevés à une profondeur de 2–25 cm. La pratique n'accorde que rarement plus d'importance au sous-sol, avec des recommandations d'augmentation. De nos jours, le défoncement (travail du sous-sol) a pratiquement disparu de la pratique, et l'argument selon lequel les cultures pérennes s'enracinent plus profondément que les grandes cultures et les cultures fourragères, ne résiste pas au moindre examen critique. Le fait de limiter les analyses à l'horizon superficiel représente donc une simplification bienvenue. Les analyses de sol et les bases de leur interprétation correspondent donc aux données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages (DBF; cf. Walther et al. 2001).

Le schéma d'interprétation de la méthode EDTA-acétate d'ammonium (cf. *éléments nutritifs de réserve et AAE10* dans le glossaire) a été adapté aux Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages (GRUDAF; Walther et al. 2001). En ce qui concerne l'extraction AAE10, le même schéma d'interprétation est donc valable pour toutes les cultures. Cela signifie qu'une fumure modérée en P, K, Ca et Mg est autorisée même dans la classe d'approvisionnement en éléments fertilisants «réserve». A ce niveau, l'important est une bonne pratique agricole en faisant preuve de bon sens. Lorsqu'une quantité importante de mulch a été appliquée sur la ligne p. ex. (ce qui veut dire des apports élevés en K dans l'espace racinaire des arbres), un apport supplémentaire de K est peu recommandé, même si la dernière analyse de sol le déclare possible, car il peut entraîner des problèmes sur le plan de la qualité des fruits (rapport K/Ca dans les fruits).

Contrairement à la précédente édition, le présent document contient également les données de base concernant la fumure des petits fruits et des kiwis.

Les particularités de la fumure dans les cultures biologiques sont également abordées pour la première fois.

Glossaire à titre de référence

Pendant l'élaboration des présentes données de base, il a été constaté que certains termes techniques liés à la fumure et à la nutrition des plantes étaient utilisés avec des significations différentes. Une telle confusion rend difficile toute discussion sur la signification et l'emploi des normes. Un glossaire en accord avec les Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages (DBF; Walther et al. 2001), doit permettre l'utilisation homogène des termes techniques liés à la fumure et éviter les malentendus.

Sommaire et structure

Les auteurs du document avaient pour but d'établir des données de base actualisées pour la fumure pratique des cultures fruitières modernes. Le document réunit les principes de base et récapitule les nouvelles découvertes. Les présentes données de base constituent donc un ouvrage de référence pour la fumure des cultures fruitières et sont destinées aux vulgarisateurs et aux praticiens intéressés.

¹ Les concepts en italique sont définis dans le glossaire.

Une version abrégée sera publiée pour faciliter l'utilisation du document dans la pratique.

Les premiers chapitres traitent *du prélèvement d'éléments fertilisants* et *du besoin d'éléments fertilisants*. Après considération des éléments fertilisants disponibles dans la nature, les chapitres suivants portent sur l'évaluation du site, du sol et de l'état nutritionnel de la culture. Le chapitre traitant de la fumure proprement dite (normes, techniques, engrais) prend appui sur ces données. En ce qui concerne la méthode et l'évaluation des analyses de sol et des teneurs des engrais organiques en éléments fertilisants, le présent document se fonde autant que possible sur les Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages (Walther et al. 2001).

Au cours des dernières années, les questions de compatibilité environnementale et de qualité des fruits ont pris une importance croissante. D'autres questions ont également fait leur apparition. Elles portent sur l'équilibre entre les éléments fertilisants nécessaires et la fumure, sur l'influence exercée par la fertilisation sur la qualité des fruits et sur l'environnement. La question d'entretien du sol n'est mentionnée qu'en cas de lien direct avec la nutrition minérale des cultures fruitières. La fumure des vergers haute tige et les particularités de l'agriculture biologique complètent le document.

Objectif: Fumure durable et conforme aux besoins

Les présentes données de base pour la fumure soutiennent la nutrition durable des *cultures fruitières commerciales* dans la production fruitière. Dans ce contexte, «durable» signifie: le potentiel de qualité et de rendement de la culture et du site sont exploités de manière optimale en mettant à profit les éléments fertilisants présents dans la nature et les éléments fertilisants apportés; les pertes d'éléments fertilisants sont ainsi minimisées. Ces facteurs permettent d'obtenir un bon résultat économique. La fumure dépend des besoins de la plante en éléments fertilisants (fumure conforme aux besoins).

Le présent document a été rédigé sous la responsabilité des Stations fédérales de recherches de Wädenswil et de Changins.

La «Commission suisse alémanique des cultures fruitières Sols et Fumure» (Deutschschweizer Obstbaukommission Boden und Düngung) et la «Commission romande des fumures, sous-commission arboriculture» ont pris position pendant l'élaboration du document et exposé leur point de vue. Le «Groupe de coordination Sols et Fumure des stations fédérales de recherche» (KBD) a évalué les présentes bases de données pour la fumure des cultures fruitières.



Etablir les principes de nutrition de toutes les espèces fruitières et de tous les éléments fertilisants, principaux et secondaires, dépasserait le cadre de cette publication. C'est pourquoi le présent chapitre se concentre, principalement, mais pas exclusivement, sur l'élément fertilisant majeur, l'azote, et sur la principale culture fruitière en Suisse, la pomme.

2.1 Concepts et éléments fertilisants

Une culture fruitière peut produire différents rendements suivant la stratégie de culture et le site. Le *rendement cible* est le rendement en fruits de première qualité qui doit être produit dans une culture fruitière. C'est à partir de ce rendement cible que l'on peut évaluer la quantité d'éléments fertilisants susceptibles de quitter la culture avec la récolte.

Pour parvenir à une nutrition durable des cultures fruitières, il est indispensable de bien comprendre les relations entre la croissance végétale et le bilan des éléments fertilisants. C'est pourquoi il est essentiel de clarifier les termes utilisés et leurs relations. Les chapitres 2.2 et 2.3 se consacrent à cette question.

Outre les éléments fertilisants majeurs que sont l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca) et le magnésium (Mg), les arbres fruitiers ont encore besoin d'autres éléments nutritifs, parfois en très faibles quantités. Ces autres éléments, appelés oligo-éléments ou micro-éléments nutritifs, sont le manganèse (Mn), le fer (Fe), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le bore (B) et le molybdène (Mo). Par ailleurs, le sodium (Na), le silicium (Si), le cobalt (Co) et le nickel (Ni) sont également des éléments utiles à la croissance végétale.

Les racines des arbres et de la prairie, mais aussi les micro-organismes du sol permettent parfois d'accéder aux éléments nutritifs dans le sol et à les rendre disponibles pour les plantes sous forme de micro-éléments nutritifs. Dans les vergers enherbés, on ne doit donc en général craindre aucune situation de carence en oligo-éléments.

2.2 Prélèvement d'éléments fertilisants

Le prélèvement d'éléments fertilisants correspond à la quantité d'éléments fertilisants qui quitte la parcelle avec la récolte sans les résidus végétaux. Le prélèvement dépend donc du niveau de rendement. Pour la fumure, la parcelle ou l'exploitation totale est considérée comme un tout de sorte que les éléments fertilisants restant sur la parcelle (résidus végétaux) ne font pas partie du prélèvement. Pour une culture fruitière en phase de pleine production, le prélèvement correspond donc aux éléments fertilisants contenus dans les fruits. En ce qui concerne les baies d'arbuste, il correspond également aux éléments fertilisants contenus dans les composants ligneux des tiges. Pour les jeunes cultures en période juvénile, le prélèvement correspond aux éléments fertilisants qui sont fixés dans les composants ligneux.

Pour que l'offre d'éléments fertilisants corresponde au besoin des plantes, la fumure ne peut consister uniquement à remplacer le prélèvement d'un élément fertilisant sous forme d'un apport unique. Il s'agit de savoir pour quels organes de la plante l'élément fertilisant doit être disponible, à quel moment, en quelle quantité et sous quelle forme.

Répartition des éléments fertilisants sur les organes

Les teneurs en éléments fertilisants des différents organes des pommiers sont présentés au tableau 1. Il faut tenir compte du fait qu'avec la rapide évolution des variétés, des porte-greffes et des formes de cultures, le rapport feuille/fruit a tendance à se décaler au profit des fruits. Il s'ensuit une augmentation du *prélèvement* dans la culture fruitière. Au cours des dernières années, cette tendance a également touché les cultures de cerises et de prunes, où l'on utilise également des arbres moins vigoureux.

La dynamique du prélèvement des éléments fertilisants au fil de l'année est traitée au chapitre 2.4. Le tableau 1 montre la répartition des éléments fertilisants dans les différents organes d'une culture fruitière. Le *prélèvement* correspond à la valeur utilisée pour les fruits. Le tableau 2 donne une vue d'ensemble des prélèvements d'éléments fertilisants pour différentes espèces fruitières. Le prélèvement permet d'évaluer le *besoin* (norme), puis le besoin corrigé (norme corrigée), et enfin, la quantité d'éléments fertilisants à apporter via la fumure (cf. chapitres suivants).

Tab. 1: Prélèvements des éléments fertilisants par les arbres fruitiers (pommiers) et répartition dans les différents organes (Batjer et al. 1952)¹.

Organe	Eléments nutritifs en kg/ha				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
Fruits (40 t/ha)	20	13	60	3,6	1,8
Feuilles	43	6,5	54,5	70,1	16,3
Branches, tronc, racines	15,5	8,5	15	37,2	2,1
Prélèvements divers (boutons, chute de fruits)	10,5	3	15,5	2,9	0,9
Bois de taille	10	4,4	4	22,9	1,5
Prélèvement total	98	35	148	136,6	22,6

¹ *Suivant le site, la variété et le système de conduite, il faut s'attendre à d'importantes fluctuations sur le plan des prélèvements.*

Tab. 2: Prélèvements des éléments fertilisants sur différentes espèces fruitières.

Espèce fruitière	Rendement t/ha	Eléments nutritifs (kg/ha)					Source
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	
Pomme	40	20	10	67	3	3	IFA 1992, USDA 1963, Shear & Faust 1980 (Ca, Mg)
Poire	40	30	10	70	2	5	IFA 1992, USDA 1963
Cerise	12	26	5	23	2	2	Huguet 1980
Prune	20	10	5	42	1	2	USDA 1963
Apricot	20	18	9	71	3	2	USDA 1963
Pêche	15	15	9	36	1	2	Marangoni & Rombola 1994
Kiwi	20	31	11	54	7	2	Smith et al. 1988, USDA 1992
Framboise	15	29	7	26	-	5	Drawert et al. 1970, Souci et al. 1977
Autres baies d'arbuste	20	37	7	47	-	4	Drawert et al. 1970, Souci et al. 1977
Myrtille	15	21	2	10	-	1	Drawert et al. 1970, Souci et al. 1977

Remarque: il peut y avoir des différences mineures entre différentes références bibliographiques (cf. p. ex. tab. 1 et 2).

2.3 Du prélèvement d'éléments fertilisants au besoin (norme) à la fumure

La différence entre le *prélèvement d'éléments fertilisants* d'une culture fruitière et le *besoin en éléments fertilisants* défini par rapport au rendement (normalisation par rapport au rendement) a plusieurs origines (cf. fig. 21.). Pour l'azote très mobile, la fumure normalisée est toujours supérieure au prélèvement, car l'azote disponible pour les plantes ne peut être absorbé qu'en partie par lesdites plantes (*utilisation*). En ce qui concerne les autres éléments fertilisants essentiels, le *prélèvement* correspond environ à la *norme* (légèrement supérieure au *prélèvement*). Les éléments fertilisants disponibles ne seront jamais tous absorbés par la plante. Le potentiel d'assimilation spécifique d'une espèce végétale et la disponibilité des éléments fertilisants dans le sol sont perturbés par les antagonismes. Il existe aussi une concurrence entre les différents éléments nutritifs pour les points d'échange ionique des composants argileux du sol, ainsi que par le pH du sol et la fixation biologique des éléments fertilisants sur la matière organique (cf. fig. 2).

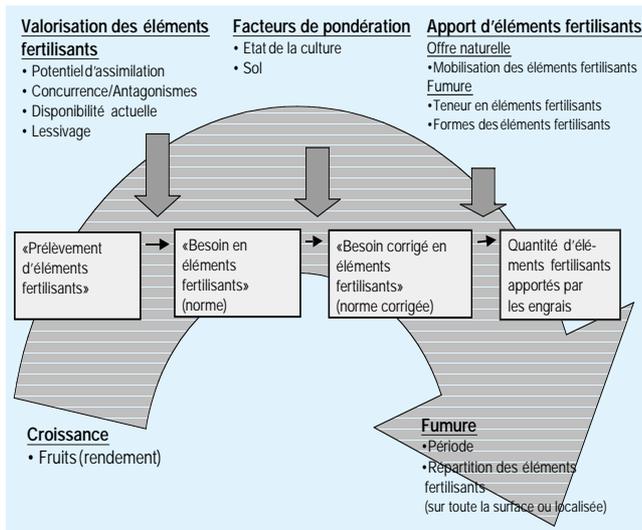


Fig. 2: Relation entre les facteurs du prélèvement, besoin, norme et quantités d'éléments fertilisants contenus dans les engrais.

Les cultures fruitières peuvent afficher des densités très diverses (p. ex. 1500 à 3500 arbres/ha). La densité des plantations a-t-elle une influence majeure sur les éléments fertilisants nécessaires et sur la fumure?

La recherche physiologique a montré que dans une culture fruitière, le potentiel de rendement par surface cultivée est en général relativement constant sur un site, dans la mesure où la surface foliaire par rapport à la surface cultivée reste sensiblement égale. Le besoin total d'éléments fertilisants par surface reste donc lui aussi relativement constant indépendamment de la densité de plantation. C'est pourquoi lorsque la densité de plantation varie, mais que le *rendement cible* par surface reste le même, les *normes* restent inchangées.

Besoin corrigé en éléments fertilisants (norme corrigée)

De quelle manière les normes de fumure sont-elle fixées et comment en déduire la fumure nécessaire?

Le *besoin en éléments fertilisants* (norme) d'une culture fruitière se base sur le *prélèvement*. Les essais et l'expérience permettent d'en déduire le besoin en éléments fertilisants (norme). Ce dernier est influencé par l'état des arbres dans le cadre d'une bonne pratique agricole (pour l'azote) ou par l'état du sol (pour P, K, Mg, Ca). Ces facteurs d'influence permettent de déterminer une norme corrigée. Compte tenu des éléments fertilisants disponibles mobilisés au moment donné, il est ensuite possible de calculer la quantité d'engrais à épandre (fig. 3 et 4).

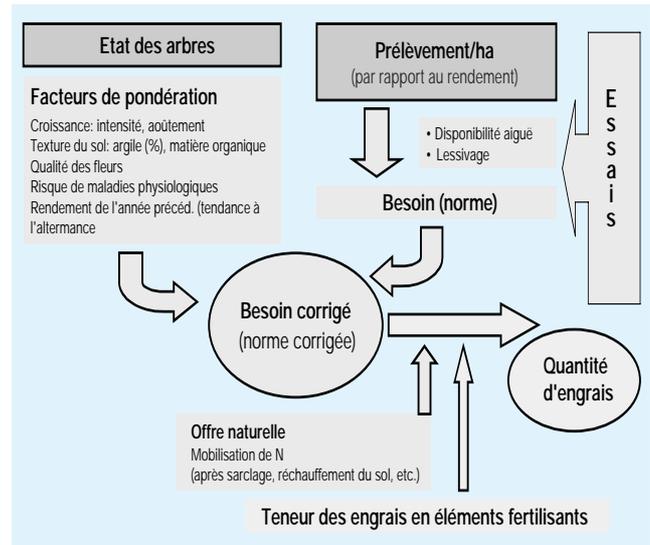


Fig. 3: Détermination du besoin en azote (norme), adaptation à l'état des arbres et déduction de la quantité d'engrais azotés à épandre, compte tenu de l'apport d'azote mobilisé momentanément.

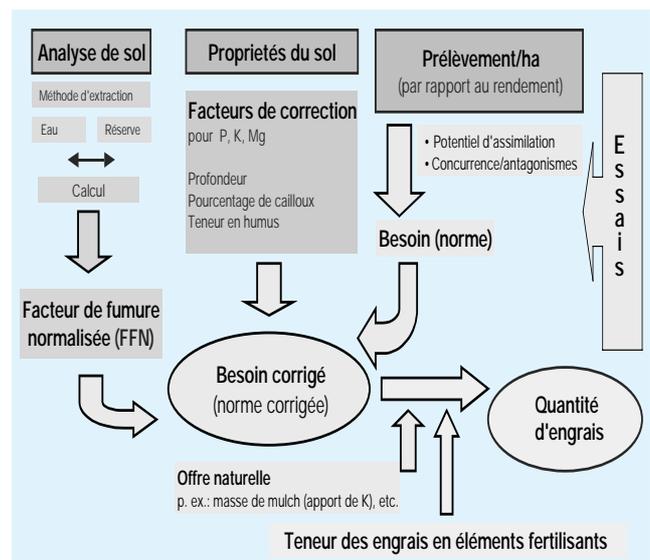


Fig. 4: Détermination du besoin en éléments fertilisants (norme) pour P, K, Ca et Mg, adaptation aux résultats des analyses de sol et détermination de la quantité d'engrais à épandre, compte tenu de l'apport d'éléments nutritifs mobilisés momentanément.

Le facteur de correction de la norme est calculé par pondération des résultats obtenus avec deux méthodes différentes d'extraction du sol (cf. chap. 4.2.4).

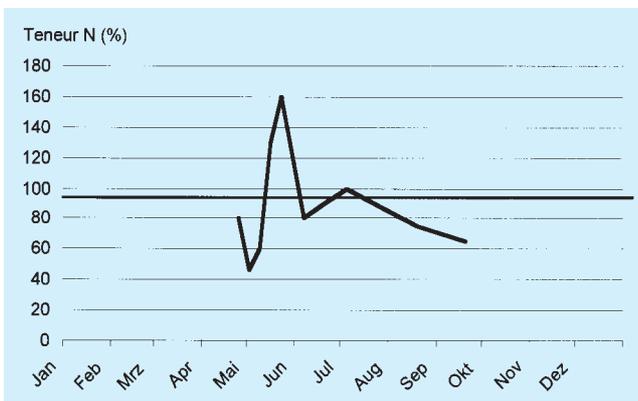


Fig. 7: Tendence de l'offre et de la demande d'éléments fertilisants n° 3: offre d'azote minéralisé entre 0 et 25 cm de profondeur, dans une ligne d'arbres enherbée avec lutte contre les adventices fin mars et avril. Indications en % d'une ligne d'arbres sans adventices dans une culture de pommiers à Wädenswil, 1993 (selon Gut et al. 1997).

Assurer un approvisionnement efficace en éléments fertilisants grâce à la maîtrise des techniques d'exploitation

L'observation des figures 5 à 7 le montre: la maîtrise des techniques d'exploitation d'une culture fruitière peut assurer le besoin d'éléments fertilisants de manière optimale. Dans ce cas précis, de manière optimale signifie que les éléments nutritifs disponibles sont mis efficacement à disposition de la culture, lorsqu'elle en a besoin. Les éléments nutritifs présents naturellement (p. ex. par mobilisation des éléments présents dans le sol) sont mis à profit et exploités. Au moment de la floraison, les différents organes de l'arbre ont également besoin d'être approvisionnés en éléments nutritifs (fig. 5). Une offre trop réduite ou trop importante d'éléments fertilisants à cette période peut avoir des conséquences négatives durables (p. ex. stimulation de l'alternance, mauvaise qualité des fruits, perte des éléments fertilisants par lessivage). Le tarissement des ressources d'azote internes à l'arbre à ce moment (baisse de l'azote mobilisé à partir de la charpente; fig. 6) doit être compensé par la mise à disposition d'azote contenu dans les engrais et la matière organique décomposée, en quantités adaptées aux besoins (p. ex. lutte contre les adventices en mars et en avril; fig. 7).

3.1 Réapprovisionnement en éléments nutritifs par le sol, fertilité du sol

Le sol sert à la fois de support et de garde-manger pour la plante. Les racines échangent les éléments du sol principalement dans la phase liquide (solution du sol) et dans une moindre mesure dans la phase solide (complexe argilo-humique). Ces deux phases (voir aussi fig. 10) sont alimentées par les engrais organiques ou minéraux apportés ou cultivés sur la parcelle (mulch) ainsi que par la roche mère et les éléments rétrogradés qui représentent une quantité importante d'éléments dont la disponibilité n'est possible que grâce à l'altération du sol. Le réapprovisionnement en éléments nutritifs suite à l'altération du sol n'est en réalité que faible par rapport aux éléments nutritifs minéralisés ou apportés.

Les éléments nutritifs ne sont libérés à partir d'engrais organiques ou minéraux que lorsqu'une activité microbienne intense garantit la minéralisation de ces éléments sous formes disponibles par les plantes.

De son côté, la microfaune du sol a besoin de suffisamment d'énergie sous forme de carbone organique. Elle a également besoin d'un système de pores continu jusqu'à la surface du sol pour assurer l'échange de gaz nécessaire à la respiration. L'humus fait partie de la matière organique (cf. chap. 3.2.1) et contribue largement à la stabilité et à la qualité biologique du sol. Les sols profonds, riches en humus, grumeleux, les sols sylvestres qui présentent une forte teneur en matière organique, représentent les sols idéaux. Les sols contenant suffisamment de particules minérales (structure grumeleuse) largement recouvertes d'humus se caractérisent par une importante surface interne. Cette propriété offre non seulement de nombreux «points d'amarrage» pour les éléments fertilisants, mais augmente également la capacité de rétention d'eau. Par ailleurs, un bilan hygrométrique équilibré est également bénéfique pour la métabolisation microbienne des éléments fertilisants et pour l'approvisionnement des arbres en eau. Dans ce type de sols, les éléments fertilisants sont non seulement disponibles en quantités suffisantes, mais l'humidité et l'échange gazeux sont également parfaits et tout est bien stabilisé (effet tampon) grâce à de nombreuses interactions. Des conditions constantes de ce type évitent de mettre les racines en situation de stress et permettent à l'arbre d'être approvisionné en eau et en éléments conformément à ses besoins physiologiques. A ce moment, il n'est presque plus nécessaire, ou plus nécessaire du tout, de corriger l'amendement par des apports ciblés d'éléments fertilisants.

Supports nutritionnels importants

Les vers apportent une aide irremplaçable pour la formation des pores grossiers et pour la liaison de l'humus et des particules minérales du sol. Les racines des arbres qui préfèrent normalement se développer en superficie, profitent des couloirs recouverts d'humus creusés par les vers et pénètrent ainsi dans les couches plus denses du sous-sol, moins riches en éléments fertilisants. Elles élargissent ainsi l'espace racinaire utile des arbres. Parmi les nombreuses bactéries, qui fonctionnent également différemment, les stabilisateurs d'azote libres ou associés aux légumineuses sont importants pour les cultures fruitières durables. Dans les peuplements de légumineuses purs, les bactéries des nodosités peuvent enrichir 200–400 kg d'azote provenant

de l'atmosphère par hectare et par an. Par ailleurs, les champignons mycorhizes sont également très importants pour la nutrition des arbres. Ils sont étroitement liés aux racines et alimentent l'arbre en phosphore notamment, en contrepartie d'assimilats.

3.2 Approvisionnement en éléments fertilisants à partir du mulch et engrais organiques

3.2.1 Entretien de la matière organique

La *matière organique* se compose des organismes vivant dans le sol, des restes végétaux et de l'humus (Hasler et Hofer 1975). Les éléments minéraux contenus dans la matière organique représentent une quantité non négligeable qui doit être comptabilisée dans le plan de fumure. Les valeurs des principaux amendements utilisés figurent dans le tableau 26. La valeur fertilisante de tous les apports de matière organique doit être prise en compte dans le plan et le bilan de fumure.

Une teneur suffisante en humus et un sol biologiquement actif présentent différents avantages (cf. chap. 3.1). L'entretien de la bande herbeuse permet en général de préserver ses propriétés (fig. 8). Lorsque la teneur en humus est insuffisante, il est recommandé d'épandre de la matière organique à plusieurs reprises, à titre de matériel de couverture, d'engrais organique, ainsi que d'entretenir la bande herbeuse.

Effet des amendements organiques

La minéralisation des amendements organiques est lente et leurs éléments fertilisants ne se libèrent que progressivement. Le phosphore, le potassium et le magnésium peuvent être comptabilisés sur plusieurs années (5 ans).

L'effet de la fumure organique sur la nutrition azotée dépend de la nature de l'amendement apporté. Les substances pauvres en azote (paille, fumier pailleux, écorces, compost grossier), à rapport C/N élevé, consomment au départ une partie de l'azote minéral du sol, alors que les matières organiques à rapport C/N faible, comme les engrais verts jeunes ou les fumiers très décomposés, produisent immédiatement de l'azote minéral. Pour les amendements à rapport C/N intermédiaire, tels que fumier mûr, engrais vert lignifié, on constate une augmentation lente de la teneur en azote minéral du sol. Cet azote ne représente toutefois qu'une partie de l'azote total de l'amendement organique. Cet azote peut être comptabilisé sur 3 ans lors de l'établissement du bilan de fumure de l'exploitation. Lorsque l'amendement n'est enfoui que superficiellement, l'effet de l'azote dure moins longtemps.

Lors de la plantation, si un apport de matière organique se révélait nécessaire, on devrait éviter de l'enfouir trop profondément lors du labour. Dans tous les cas, un apport de matière organique au défoncement est exclu, car sa fermentation en profondeur peut provoquer l'asphyxie des jeunes arbres.

Effet de l'engazonnement et de l'entretien du sol

Dans un verger avec un sol nu ou travaillé (cas rares), les déchets organiques en provenance du verger ne suffisent pas à couvrir les besoins en matière organique. Par contre, l'engazonnement de l'interligne et les déchets végétaux (feuilles, bois de taille) suffisent à entretenir le taux de matière organique. L'engazonnement de l'interligne apporte

également d'autres avantages: protection contre l'érosion, prévention du compactage du sol et amélioration de la portance des sols pour le passage répété des machines. Il faut donc accorder de l'importance à l'enherbement. C'est pourquoi il est tout à fait opportun d'amender occasionnellement cette partie du verger en utilisant un distributeur d'engrais pneumatique dans le cadre de la norme. Le maintien d'une bande libre d'adventices sur la ligne d'arbres est une mesure pour éviter une trop forte concurrence en eau et en azote pour les jeunes cultures. Mais les essais ont montré que dans les cultures de pommiers, il suffisait de conserver la ligne d'arbres sans enherbement à une certaine période (notamment au moment de la floraison), de manière à minimiser la concurrence exercée par les adventices et à tirer parti au maximum des avantages écologiques de l'engazonnement. Tout semis d'engrais vert contribue à améliorer l'activité biologique (Gut et al. 1997; fig. 8). Et la couverture végétale préserve également les lignes d'arbres de l'érosion.

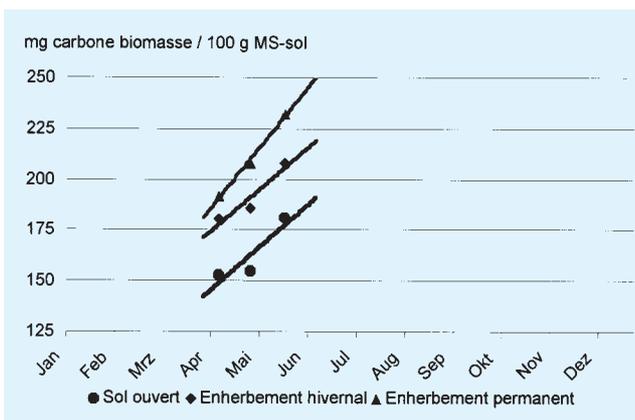


Fig. 8: Biomasse microbienne (mg de biomasse-carbone par 100 g de matière sèche du sol. Moyenne \pm écart-type) dans les lignes d'arbres d'une culture de pommiers à Landquart au printemps 1996. Enherbé en hiver signifie «exempt d'adventices en avril–septembre» (Gut et al. 1997).

3.2.2 Sources de matière organique

Apport d'éléments fertilisants par le mulch épandu sur les lignes d'arbres

Il est pratiqué sur vergers en sols superficiels, érodables et en zones sèches, avec des écorces ou des déchets végétaux. Il conserve l'eau du sol en diminuant l'évaporation. Lors d'apports à C/N élevé (paille, sciure, écorces), la décomposition du mulching mobilise une partie de l'azote du sol aux dépens de la culture. Dans les sols libérant naturellement peu d'azote (faible taux de MO), un apport complémentaire de 30 kg N/ha/an de cet élément se justifie avant la couverture du sol.

La concentration du mulch sur la ligne des arbres entraîne une augmentation du potassium et de l'azote fournis au sol. Le dépôt de mulch à base d'herbe sur la ligne d'arbres ou sur une rangée de plantes (sous laquelle se trouve la masse racinaire principale des arbres ou des arbustes) correspond à un apport de potassium (K_2O) pouvant aller jusqu'à env. 100 kg par année et par hectare de surface mulchée (Walther et al. 2001; prélèvement d'éléments fertilisants d'une prairie peu intensive). Pour un interligne de 3,5 m,

cela correspond env. à 70 kg K_2O , apporté aux bandes de plantes sous forme concentrée. L'apport d'azote (N), de phosphore (P_2O_5) et de magnésium (Mg) s'élève respectivement à 80, 30 et 10 kg par hectare de surface enherbée.

Des teneurs trop élevées en potassium posent problème lors de l'absorption des éléments fertilisants à charge positive (cations), par exemple le calcium, le magnésium, le fer et le manganèse. C'est pourquoi il faut éviter que la masse de mulch se concentre uniquement sur les lignes d'arbres pendant plusieurs années, notamment sur les sites qui ont tendance à avoir des problèmes de chloroses ou de taches amères.

Les fumiers

Il s'agit principalement (cf. tab. 26) de fumier de bovins, de cheval ou de poules. Le fumier de poules ne doit être apporté qu'en quantités limitées (maximum 20 m³/ha tous les 3 à 4 ans), à cause de sa richesse en azote et en substances de croissance (auxines). En sols calcaires, il faut éviter les fumiers pailleux et frais: l'eau de pluie ou d'arrosage se charge en gaz carbonique libéré par le fumier et peut former des bicarbonates qui bloquent l'assimilation du fer.

Les composts verts (à base de déchets végétaux)

Les matériaux issus du compostage de déchets organiques peuvent être d'un emploi intéressant tant du point de vue de la matière organique que des éléments fertilisants, surtout lors de reconstitutions (voir chap. 5.4). Un résultat d'analyse doit être fourni avec chaque livraison et l'utilisateur se conformera à la législation en vigueur concernant la teneur en métaux lourds. Les apports de compost vert ne doivent pas dépasser 25 t/ha tous les trois ans.

Les amendements organiques du commerce

Ces amendements contiennent au moins 50% de matière organique. Ils sont souvent enrichis en éléments fertilisants et peuvent permettre l'application, en un seul passage, de la matière organique et des éléments fertilisants. Il faut cependant préciser qu'il n'est pas possible d'augmenter véritablement la teneur du sol en matière organique en procédant à des amendements organiques.

3.3 Réapprovisionnement en éléments fertilisants issus de l'atmosphère

Chaque année, 20 à 40 kg N/ha pénètrent dans le sol via les précipitations; le pourcentage des autres éléments nutritifs, à l'exception du soufre, est de faible importance par rapport à l'alimentation des plantes. L'apport d'azote par les précipitations n'est pas pris en compte dans le bilan des éléments fertilisants.

4.1 Evaluation de la culture et du sol

4.1.1 Critères d'adaptation de la fumure aux cultures fruitières spécifiques

Les facteurs de pondération mentionnés dans la suite du document servent à adapter la fumure nécessaire (norme) à la situation concrète d'un verger pour que les apports d'engrais correspondent au besoin spécifique de la culture.

Azote

Les conditions météorologiques (précipitations, température, etc.) et les conditions du sol (p. ex. température du sol au printemps, notamment pendant la floraison) influencent considérablement le processus de croissance de l'arbre, ce qui se répercute ensuite sur l'état de la culture fruitière et donc sur le besoin en azote. Le besoin en azote (norme) est corrigé sur la base d'observations relatives à la culture (pousse annuelle, état des feuilles, porte-greffes, etc.; cf. tab. 13) et de quelques propriétés du sol. Pour les cultures pérennes, les corrections de la norme ne se basent pas directement sur les conditions météorologiques, celles-ci sont prises en compte à travers l'observation de l'état des arbres (p. ex. avec le critère de correction «pousse annuelle et état des feuilles»). Dans le cas de l'azote, élément très mobile, l'analyse chimique du sol (chap. 4.2) ne convient par ailleurs pas pour estimer le besoin en azote.

Les facteurs de pondération suivants sont pris en compte:

- la vigueur de l'année (pousse annuelle) qui se traduit par la longueur des pousses et la couleur du feuillage (état de la feuille);
- l'aoûtement du bois et la formation de l'œil terminal;
- la formation des boutons à fruits (fleures), élément d'appréciation important des besoins pour la saison à venir;
- l'importance de la récolte précédente, qui informe sur les besoins passés;
- la tendance aux maladies physiologiques, qui peut refléter des excès ou des déséquilibres en fertilisants;
- moyenne de la vigueur générale, provoqué par le type de porte-greffe en relation avec la profondeur utile du sol, qui représente le volume exploité par les racines);
- volume occupé par les cailloux;
- teneur en matière organique.

Les indices de correction de la fumure nécessaire (norme) et le calcul de la «fumure corrigée» (norme corrigée) sont présentés au chapitre 5.1.1 (cf. également fig. 2).

Phosphore, potassium, magnésium, calcium

Pour ces éléments fertilisants également, la norme peut être corrigée en fonction de l'état de la culture et du site (cf. chap. 5.1.2):

- niveau de rendement;
- profondeur du sol;
- volume occupé par les cailloux (fraction du sol comportant des particules minérales dont le diamètre est > 2 mm);
- matière organique.

Contrairement à l'azote, dans le cas des éléments fertilisants moins mobiles que sont le phosphore, le potassium, le magnésium et le calcium, l'analyse chimique du sol constitue une base essentielle pour déterminer la fumure. L'ana-

lyse du sol permet de définir les facteurs de correction pour la fumure normalisée (cf. chapitre 4.2.4), de façon à ce que la fumure nécessaire adaptée selon les critères mentionnés ci-dessus (norme) soit également adaptée à l'offre d'éléments fertilisants spécifique du sol.

4.1.2 Antagonismes et synergismes

L'absorption d'éléments fertilisants sous forme ionique se fait au niveau des points d'échange ionique à la surface des racines. Lorsqu'un élément fertilisant se présente sous une forme ionique à charge positive, il peut «empêcher» l'absorption d'un autre élément fertilisant à charge positive. Cela peut se produire notamment lorsqu'un élément fertilisant augmente beaucoup dans la solution du sol et est disponible en grosses quantités, tandis qu'un autre élément n'existe qu'en quantité réduite, bien que peut-être suffisante pour la plante. Il se produit alors ce qu'on appelle un «antagonisme» entre les deux éléments concernés.

La synergie consiste à stimuler l'effet entre deux ions d'éléments fertilisants, c.-à-d. à augmenter la concentration d'un ion et son absorption par la plante sous l'action d'un autre ion (interaction positive des synergistes). Cela peut se produire entre deux éléments fertilisants de charge opposée, lorsque l'offre d'un ces deux éléments augmente considérablement.

Il s'agit ici avant tout d'attirer l'attention sur les antagonismes d'absorption: les points de liaison à la surface des racines font l'objet de concurrence, ce qui se fait surtout sentir pour les cations des principaux éléments fertilisants (à charge positive).

Cet antagonisme d'absorption est facile à comprendre si l'on songe que le rapport entre les ions absorbés à charge positive et négative (cations et anions), reste toujours sensiblement le même. L'offre supplémentaire d'un cation (p. ex. K^+) peut donc empêcher l'absorption d'un autre cation (p. ex. Ca^{++}), ou, l'absorption supplémentaire d'un anion (p. ex. NO_3^-) peut également entraîner l'absorption d'un cation (p. ex. Mg^{++}). Pour conclure, on peut donc dire que:

pour identifier les antagonismes importants pour l'arbre, il est important de connaître la forme ionique sous laquelle les éléments nutritifs sont absorbés par la plante (tab. 3).

Tab. 3: Teneur totale et éléments fertilisants disponibles pour la plante dans les sols minéraux (jusqu'à 20 cm de profondeur; Hasler et Hofer 1975).

Éléments fertilisants	g/kg sol	Forme disponible pour la plante
Azote (N)	1–3	NO ₃ ⁻ (Nitrate); NH ₄ ⁺ (Ammoniac)
Phosphore (P)	0,2–0,8	H ₂ PO ₄ ⁻ ; HPO ₄ ⁻
Soufre (S)	0,5–3	SO ₄ ⁻
Potassium (K)	2–30	K ⁺
Calcium ¹ (Ca)	1–12	Ca ⁺⁺
Magnésium ² (Mg)	0,5–5	Mg ⁺⁺
Sodium (Na)	1–10	Na ⁺
Fer (Fe)	5–40	Fe ⁺
Bore (B)	10–100	B(OH) ₃
Cobalt (Co)	8–80	Co ⁺⁺
Cuivre (Cu)	10–100	Cu ⁺⁺
Manganèse (Mn)	500–5000	Mn ⁺⁺
Molybdène (Mo)	0,5–5	MoO ₄ ⁻
Zinc (Zn)	10–300	Zn ⁺⁺

Les micro-éléments fertilisants sont également absorbés sous forme de liaisons organiques.

¹ Les sols contenant du carbonate de calcium sont très riches en calcium.

² Les sols dolomitiques sont très riches en magnésium.

Les antagonismes peuvent entraîner des manifestations de carence (cf. ci-dessous) suite à une absorption trop faible d'éléments fertilisants, même si l'élément fertilisant correspondant se trouve en quantité suffisante dans la solution du sol. Souvent, les chloroses que l'on rencontre par exemple dans les cultures fruitières (couleur jaunâtre des feuilles suite à un manque de fer ou de manganèse) ne sont donc pas la cause d'une offre trop réduite d'éléments fertilisants dans le sol, mais d'un apport excédentaire en potassium (p. ex. fumure excédentaire ou épandage répété d'engrais organique à base de potassium comme le lisier et le fumier ou en cas d'épandage important de mulch à base d'herbes sur les lignes d'arbres; cf. chap. 3.2.2).

4.1.3 Carences et troubles physiologiques

Les carences des tissus végétaux en éléments fertilisants essentiels et en oligo-éléments sont des troubles de la gestion de ces éléments dans les tissus, qui peuvent également être qualifiés de troubles physiologiques. Ils peuvent être la cause d'un apport trop faible ou trop important d'un élément fertilisant.

Symptômes

Les carences en éléments nutritifs dans les feuilles et les fruits ne sont souvent pas visibles à l'œil nu, mais peuvent apparaître sous forme de

- chloroses (décomposition de la chlorophylle du mésophylle entre les nervures, ce qui rend le vert de la feuille plus clair et se traduit par un jaunissement attaquant d'abord les jeunes feuilles);
- rougissement du mésophylle ou nécroses (parties mortes ou brunes du mésophylle ou du tissu du fruit); ou
- chute précoce des feuilles (carence en magnésium, notamment dans le cas de la variété Golden Delicious).

Les symptômes d'excédent d'un élément nutritif se manifestent également par une altération de la couleur et des nécroses tissulaires.

Causes

- Faible concentration des éléments nutritifs disponibles pour les plantes dans le sol;
- antagonismes (concurrence ionique; cf. chap. 4.1.2);
- pH, qui rend difficile l'absorption des éléments nutritifs disponibles (cf. chap. 4.2.4.3);
- fixation des éléments nutritifs dans le sol;
- réapprovisionnement insuffisant en éléments nutritifs à cause
 - de l'absence ou de la réduction de la mobilisation des éléments nutritifs dans le sol suite à des conditions trop sèches, trop froides ou humides;
 - de l'état de faiblesse des plantes, par exemple après un gel ou des dégâts causés par la grêle;
 - de l'endommagement du système racinaire dans le cas de nouvelles plantations ou de dégâts causés par les phytophages au niveau des racines;
 - de l'apport trop faible en azote combiné avec une floraison très abondante.

Pour le diagnostic et l'évaluation des carences, se référer aux fiches techniques correspondantes (Heller et Ryser 1997a, b, c).

Mesures

Il faut d'abord clarifier dans quelle mesure les erreurs d'exploitation peuvent contribuer à amplifier telle ou telle cause. La fumure excédentaire peut entraîner des excédents d'éléments fertilisants qui perturbent la croissance et le métabolisme.

Dans le cas des oligo-éléments notamment, une application foliaire répétée constitue souvent la seule possibilité immédiate pour supprimer les carences. Les symptômes spécifiques, les causes et les mesures possibles sont exposés dans le chapitre 5.2.5.

Des solutions durables permettant d'éviter les carences doivent être mises au point. L'évaluation complète du site et la prise en compte de la question des variétés y contribuent.

4.1.4 Évaluation du sol à l'aide de son profil

Le producteur connaît généralement bien les propriétés pédologiques de la couche de sol travaillée (0–30 cm). Suivant la profondeur du sol, les cultures fruitières s'enracinent un peu plus profondément. Les connaissances relatives aux propriétés des couches profondes du sol peuvent donc aider à comprendre les éventuelles difficultés des cultures. De plus, l'observation du profil du sol peut aider à stimuler les propriétés désirées et à prévenir les évolutions indésirables. Il est possible de modifier véritablement les propriétés

d'un sol après défrichage, avant la plantation de nouveaux arbres dans le cadre d'améliorations foncières. Ces modifications vont généralement de pair avec des dépenses relativement élevées. On peut également profiter de l'occasion pour effectuer une analyse du sous-sol (chap. 4.2.1).

Le tableau 4 indique les différentes propriétés pédologiques qui peuvent éventuellement poser problème pour la culture fruitière, ainsi que les mesures d'amélioration potentielles (cf. également cahier FAL 41). Les propriétés du sol sont évaluées à l'aide d'un profil (trou d'environ 1 mètre jusqu'à la profondeur d'enracinement; fig. 9) et/ou du test de la bêche (trou avec des drainages de 60 cm de profondeur effectués à la bêche). L'évaluation d'un sol nécessite une certaine connaissance et expérience (cf. également Zihlmann 1993).

Les analyses de sol donnent elles aussi des informations essentielles quant à l'adéquation d'un site à la culture fruitière. Cet aspect sera traité dans le chapitre 4.2.



Fig. 9: Profil du sol d'une culture fruitière: l'observation du profil pédologique permet de mieux évaluer le site et de prendre des mesures plus ciblées, lorsque c'est nécessaire. Creuser un profil s'avère donc utile. (Foto: E Fankhauser, FAW)

Tab. 4: Propriétés du sol limitant les cultures fruitières et mesures palliatives.

Propriété restrictive	Manifestation des critères: comment les identifier?	Mesures
Sol hydromorphe	Couches compactées, de couleur bleuâtre, tâches de rouille au-dessus de 60 cm de profondeur	Exclure éventuellement le site pour la culture fruitière, drainage (p. ex. drainage-taupe). Evacuer les eaux de pente au-dessus de la plantation. Plantation butte. Lorsque les horizons sont compactés, labour profond ou passage du chisel avec semis immédiat.
Pénétration racinaire inférieure à 50 cm	Les racines manquent. Forte proportion de cailloux et/ou couche compactée. Faible teneur en humus.	Irrigation éventuellement nécessaire. Engrais vert pluriannuel (p. ex. Phacelia, radis oléifère) et engrais organique pour augmenter la teneur en humus. Lorsque les horizons sont compactés, labour profond ou passage du chisel avec semis immédiat.
Séparation nette entre les horizons du sol jusqu'à 50 cm de profondeur	Aucun mélange des horizons. Identifiable à la couleur, la structure et la texture. Peu ou pas de couloirs creusés par les vers de terre.	Labour profond ou passage du chisel; pour le passage des machines, contrôler la fréquence et les conditions météorologiques. Diminuer les charges à l'essieu grâce aux pneus jumelés. Engrais vert (p. ex. Phacelia, radis oléifère) et engrais organique pour augmenter la teneur en humus.
Battance, rainures d'érosion	Couche supérieure du sol compactée. Structure du sol à grains trop fins. Ruissellement de la terre fine.	Disposer les lignes d'arbres en travers de la pente. Améliorer les semis (éventuellement en fertilisant la bande herbeuse). Recouvrir les lignes d'arbres de matériaux organiques. Ciruler moins souvent sur la parcelle et uniquement lorsque le sol n'est pas trop mouillé. Diminuer les charges à l'essieu grâce aux pneus jumelés. Engrais vert et engrais organique pour augmenter la teneur en humus.

4.1.5 Évaluation globale d'un site

L'évaluation du sol n'est pas le seul critère permettant de décider si un site convient ou non à la culture fruitière. Un site doit être évalué dans son ensemble, en tenant compte également des facteurs climatiques (gel, vent...) et des critères liés au marché (proximité des marchés, débouchés...).

Lorsqu'un site présente des propriétés qui ne peuvent pas être modifiées en l'espace de quelques années en changeant simplement la technique d'exploitation ou en prenant des mesures d'assainissement (cf. tab. 4), (p. ex. dans le cas d'un pH très élevé à cause d'une forte teneur en calcaire), il faut alors étudier les possibilités d'arriver à une production durable en planifiant la culture en fonction du site (p. ex. en cas de carence en magnésium, renoncement à la culture de la variété Golden Delicious, qui perd ses feuilles de manière précoce suite au manque de magnésium; renoncement aux variétés sensibles aux taches en cas de problèmes liés à l'absorption du calcium).

4.2 L'analyse du sol

Les éléments fertilisants contenus dans les engrais, à l'exception de l'azote et des éventuelles applications foliaires d'oligo-éléments, sont épandus une fois par an sur la parcelle. L'argile et la matière organique du sol sont en mesure de fixer ces éléments fertilisants (facteur de capacité) et de les transmettre à la solution du sol sur une longue durée (facteur d'intensité). La plante absorbe les éléments nutritifs essentiellement par la solution du sol. La fixation des éléments fertilisants sur les particules solides du sol et la transmission à la solution du sol et à la plante sont des processus dynamiques qui sont influencés par les propriétés des éléments fertilisants, du sol et de la plante.

L'analyse du sol avec un produit d'extraction puissant (p. ex. AAE10) et un produit d'extraction peu puissant (de l'eau p. ex.) peut permettre de comprendre la dynamique de la disponibilité des éléments fertilisants: l'extraction avec de l'eau permet surtout de saisir les éléments fertilisants disponibles pour les plantes, le produit d'extraction puissant, lui, permet de déterminer tous les éléments fertilisants disponibles dans le sol (fig. 10). Il existe différentes méthodes d'analyse de sol. Dans les cultures fruitières, la méthode *AAE10* et la méthode d'extraction à l'eau sont celles qui se sont imposées. Elles donnent des indications précieuses sur l'approvisionnement en éléments nutritifs et sur la capacité d'absorption du sol.

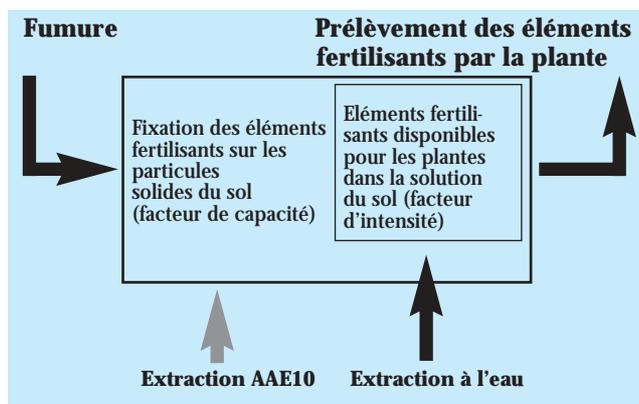


Fig. 10: Dynamique des éléments fertilisants et méthodes d'extraction pour les analyses de sol.

4.2.1 Fréquence et type d'analyse du sol

Certaines propriétés du sol peuvent difficilement être modifiées par les techniques d'exploitation ou ne peuvent pas l'être du tout. Ces propriétés doivent donc surtout être identifiées lorsqu'il s'agit d'évaluer un site pour la première fois avant de mettre en place une culture fruitière (cf. tab. 5). En revanche, les teneurs en éléments fertilisants, le pH et la teneur en matière organique changent continuellement et doivent donc être contrôlés périodiquement.

En général, on renonce à toute analyse chimique du sous-sol. Mais elle peut être recommandée dans des cas exceptionnels, p. ex. en cas de carences, de difficultés de culture et éventuellement lors d'améliorations foncières et de nouvelles plantations (cf. tab. 5).

Les analyses de sol servent de base pour calculer la *fumure nécessaire* corrigée (norme corrigée) en phosphore, potassium, magnésium et calcaire (calcium). Pour l'azote par contre, on n'utilise aucun résultat d'analyse chimique pour calculer la fumure nécessaire (cf. chap. 4.1.1).

Tab. 5: Analyses de sol en arboriculture (horizon 2 à 25 cm).

Analyse ¹	Fréquence	Au début (E), périodiquement (P)
Couche supérieure du sol: horizon 2-25 cm		
P et K (extrait AAE10)	A/B	P
Mg et Ca (extrait AAE10)	B	P
P, K, Mg (extrait à l'eau)	A/B	P
Micro-éléments B, Mn, éventuellement Cu, Fe, Zn, Mo	C	P
Appréciation granulométrique (test tactile: argile, limon)	A	E
Analyse granulométrique (argile < 0,002 mm, limon 0,002-0,05 mm, sable > 0,05 mm)	C	E
Analyse matière organique	A	P
Capacité d'échange des cations (CEC)	C	E
pH	A/B	P
Taux de saturation (issu de l'analyse de la CEC)	C	E
Sous-sol: horizon 25-50 cm		
P, K, Mg et Ca, pH, test tactile	C	E

¹ La description complète des méthodes d'analyse se trouve dans l'ouvrage de référence des méthodes des Stations fédérales de recherches.

A: Standard minimal. Correspond aux exigences des prestations écologiques requises (PER) de la Confédération valable pour la période de culture 2002/2003.

B: Recommandé chaque 5 ans ou plus souvent si besoin, particulièrement pour les cultures commerciales ayant des problèmes culturaux et de qualité.

C: Autres possibilités d'analyses pour l'appréciation du terrain, recommandé particulièrement pour les nouvelles installations et celles à problèmes.

Taux de saturation (%): réserve en K, Mg et Ca disponible pour la plante en pourcent de la capacité d'échange des cations (< 6: extrêmement bas, 6,1-12: très bas, 12,1-18: bas, 18,1-30: modéré à suffisant; 30,1-99, > 99: bases saturées).

Lorsque l'on obtient une différence supérieure à 2 niveaux d'approvisionnement (voir chap. 4.2.4.2) entre les réserves d'éléments et l'extrait d'eau, il est recommandé de s'adjoindre le concours d'un spécialiste pour l'interpréter. Voir aussi Walther et al. 2001 (chap. 4).

4.2.2 Prises d'échantillons du sol quand et comment?

Il est très important de soigner le prélèvement des échantillons de terre car c'est de lui que dépend la qualité du résultat.

Afin d'éviter des différences liées aux fluctuations saisonnières, il est conseillé de prélever les échantillons de terre toujours à la même époque. Dans les cultures pérennes nous conseillons de prélever les échantillons entre août et novembre.

Pour éviter des variations liées à l'hétérogénéité du sol, il est préférable de prélever toujours selon le même schéma pour une même parcelle. L'échantillon prélevé doit être représentatif de la parcelle ou du secteur analysé. Si l'on sait qu'une parcelle possède des caractéristiques hétérogènes il convient d'en prélever plusieurs échantillons et de les individualiser de sorte à pouvoir retranscrire les résultats de l'analyse sur le terrain.

Le prélèvement est effectué au moyen d'une sonde (type Pürkhauer ou Eijkelkamp). Le nombre minimal de piqûres pour constituer un échantillon est de 12 (idéal 20). L'échantillon est prélevé de 2 à 25 cm de profondeur; l'herbe en surface de 0 à 2 cm est éliminée. Cette profondeur représente la zone la plus explorée par les racines des arbres fruitiers.

Les piqûres sont distribuées sur la diagonale de la parcelle, effectuées à la limite entre la surface enherbée et la bande désherbée. Sur les terrasses transversales et dans le cas de localisation d'engrais sur la bande désherbée seulement, les prélèvements seront limités à cette zone (fig. 11). Lorsque la fumure est localisée au goutte à goutte ou au pal injecteur, la représentativité de l'échantillon de sol devient aléatoire. Dans ces cas, nous recommandons de doubler le nombre de prélèvements qui seront mélangés dans l'échantillon global.

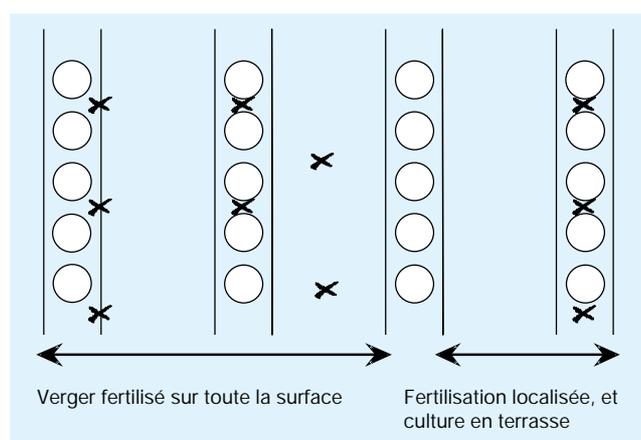


Fig. 11: Schéma de prélèvement des échantillons de terre.

4.2.3 Laboratoires d'analyse du sol

L'échantillon prélevé, accompagné d'une feuille de demande, doit être acheminé le plus rapidement possible au laboratoire reconnu pour les PER. Chaque année, une liste des laboratoires reconnus est publiée. Une fiche d'accompagnement correctement remplie facilite l'acheminement de l'échantillon, aide à choisir le type d'analyse et à interpréter les résultats.

4.2.4 Interprétation des résultats de l'analyse du sol

4.2.4.1 Classification du sol

Sur la base de la granulométrie du sol (appréciée ou analysée; voir tab. 5), il est attribué à l'une des trois classes (tab. 6) qui déterminera le facteur de correction des résultats de l'analyse.

Tab. 6: Barème d'interprétation du taux de matière organique selon le taux d'argile du sol en arboriculture.

Classe de sol	Taux d'argile (< 0,002 mm)	Appréciation du taux matière organique (%) (2-28 cm de profondeur)		
		Faible	Satisfaisant	Elevé
Sol léger	< 10%	< 1,1	1,1-2,5	> 2,5
Sol équilibré	10-30%	< 1,5	1,5-3,5	> 3,5
Sol lourd	> 30%	< 2,3	2,3-4,0	> 4,0

La teneur en matière organique du sol (matière organique = carbone organique $\times 1,7$) n'évolue, en général, que très lentement et difficilement car elle dépend de facteurs caractéristiques du sol et du climat qui eux aussi évoluent lentement. Les possibilités d'intervention par des techniques culturales sont discutées au chapitre 3.2.2.

4.2.4.2 Phosphore, potasse, magnésium et calcium

Les teneurs en éléments nutritifs P, K, Mg et Ca sont appréciées en tableau 7 pour l'extrait selon AAE10 et en tableau 8 pour l'extrait d'eau.

Ces tableaux présentent les facteurs de correction pour les normes de fumure. Pour les sols sur-approvisionnés en éléments nutritifs, le facteur correctif sera inférieur à 1; en d'autres termes, la quantité d'engrais à apporter est inférieure au besoin de la culture et la teneur du sol en éléments nutritifs devrait baisser au cours des années. Pour les sols sous-approvisionnés en éléments nutritifs, le facteur correctif sera supérieur à 1; en d'autres termes, la quantité d'engrais à apporter sera supérieure au besoin de la culture et la teneur du sol en éléments nutritifs devrait augmenter au cours des années. L'évolution des teneurs en éléments nutritifs du sol ne varie pratiquement pas d'une année à l'autre, en règle générale les corrections se réalisent sur des années voire des siècles comme c'est le cas pour les phosphates en sol lourd. Les antagonismes (voir chap. 4.1.2) doivent dans tous les cas être pris en compte. Par exemple, pour sols riches ou très riches en potasse (classe d'approvisionnement D = réserve ou E = très riche), les apports en Mg ne doivent pas être inférieurs à 20 kg/ha/an pour éviter l'antagonisme K - Mg (sauf si Mg est également en classe d'approvisionnement D ou E).

Pondération des facteurs de correction obtenus par les méthodes réserve et extrait d'eau

Les différences de teneurs entre l'extrait d'eau et l'extrait AAE10 livrent de précieuses informations sur le sol. Si les réserves en éléments nutritifs sont élevées alors que les éléments nutritifs disponibles pour la plante sont faibles, il s'agira d'un sol à haut pouvoir fixant. Dans le cas contraire, réserves faibles et disponibles élevées, il s'agira d'un sol à activité biologique élevée (Gysi et al. 1983).

4 ÉVALUATION DU SITE

Le facteur de correction de la norme provenant de la réserve est pondéré deux fois, celui de l'extraction facilement disponible une fois, soit:

$(2 \times \text{facteur réserve} + 1 \times \text{facteur disponible})/3 = \text{facteur combiné}$ (facteur de norme de fumure; voir fig. 4).

Le facteur combiné sert ensuite à corriger la norme de fumure pour obtenir la norme corrigée pour un niveau de rendement spécifique. Ensuite, des corrections liées au porte-greffe et à la profondeur utile du sol, au volume occupé par les cailloux et à la teneur en matière organique

sont effectuées (voir pour principe: chap. 4.1.1, et pour un exemple chap. 6.1).

Lorsque l'on obtient une différence supérieure à 2 niveaux d'approvisionnement (voir chap. 4.2.4.2) entre les réserves d'éléments et l'extrait d'eau, il est recommandé de s'adjoindre le concours d'un spécialiste pour l'interpréter.

Dans des cas particuliers (voir tab. 5), lorsqu'on analyse également le sous-sol, les valeurs d'analyse des deux couches de sol peuvent être intégrées dans une formule (Heller et al. 1993, Ryser et al. 1995).

Tab. 7: Eléments nutritifs dans l'extrait AAE10 et facteur de correction des besoins en P, K, Mg et Ca selon les classes d'approvisionnement (fertilité du sol; VSGP et al. 2002, adapté à Walther et al. 2001).

Barèmes d'interprétation pour toutes les cultures. Résultats d'analyse de terre obtenus par extraction AAE10. Valeurs exprimées en mg par kg de terre sèche.

Elément	Facteurs de correction de la norme de fumure															
	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
	Appréciation de la richesse du sol															
	Pauvre A	Mé-diocre B	Mé-diocre B	Satis-faisant C	Réserve D	Très rich E										
Sols légers: moins de 10% d'argile																
P	< 20	20	40	50	60	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130
K		< 60	60	110	140	170	200	240	270	300	325	350	370	390	405	420
Mg				< 50	50	60	85	110	120	130	145	160	185	210	230	250
Ca	< 1000	1000	< 2000	2000				< 20 000	20 000						40 000	> 40 000
Sols moyens: 10 à 30% d'argile																
P	< 10	10	25	40	50	60	70	80	85	90	95	100	105	110	115	120
K		< 40	40	80	110	140	170	200	230	260	290	320	340	360	380	400
Mg			< 50	50	100	140	170	200	225	250	275	300	325	350	390	425
Ca	< 1000	1000	< 2000	2000				< 20 000	20 000						40 000	> 40 000
Sols lourds: plus de 30% d'argile																
P	< 10	10	20	30	40	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110
K			< 40	40	70	100	135	170	200	230	255	280	300	320	350	380
Mg	< 60	60	100	140	180	225	265	300	325	350	375	400	425	450	475	500
Ca	< 1000	1000	< 2000	2000				< 20 000	20 000						40 000	> 40 000

Ce tableau s'applique à des sols ayant jusqu'à 5% de matière organique. Des valeurs supérieures sont rares en arboriculture (dans ce cas, les corrections se trouvent en tab. 2 dans Ryser 1998).

Les valeurs se situant entre celles d'une colonne et celles de la suivante, s'interprètent avec le facteur de correction le plus élevé.

Exemple pour un sol moyen: 79 mg P/kg = facteur 0,9.

Tab. 8: Eléments nutritifs dans l'extrait d'eau et facteur de correction des besoins en P, K, Mg et Ca selon les classes d'approvisionnement (fertilité du sol; VSGP et al. 2002).

Barèmes d'interprétation pour toutes les cultures. Résultats d'analyse de terre obtenus par extraction AAE10. Valeurs exprimées en mg par kg de terre sèche.

Elément	Facteurs de correction de la norme de fumure															
	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
	Appréciation de la richesse du sol															
	Pauvre A	Mé-diocre B	Mé-diocre B	Satis-faisant C	Réserve D	Très rich E										
Sols légers: moins de 10% d'argile																
P	< 4	4	6	8	9	10	11	12	13,5	15	16,5	18	19,5	21	22,5	24
K	< 10	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Mg	< 4	4	6	8	9	11	13	15	16	18	20	22	24	26	28	30
Ca	< 3	3	16,5	30	37,5	45	52,5	60	67,5	75	82,5	90	97,5	105	112,5	120
Sols moyens: 10 à 30% d'argile																
P	< 2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
K	< 10	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Mg	< 5	5	7	10	14	18	22	25	28	31	34	37	40	43	46	50
Ca	< 6	6	33	60	85	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	300
Sols lourds: plus de 30% d'argile																
P	< 1	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8
K	< 5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
Mg	< 8	8	11,5	15	18	22	26	30	33	36	40	44	48	52	56	60
Ca	< 9	9	49,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5	360

Ce tableau s'applique à des sols ayant jusqu'à 5% de matière organique. Des valeurs supérieures sont rares en arboriculture (dans ce cas, les corrections se trouvent en tab. 2 dans Ryser 1998).

Les valeurs se situant entre celles d'une colonne et celles de la suivante, s'interprètent avec le facteur de correction le plus élevé.

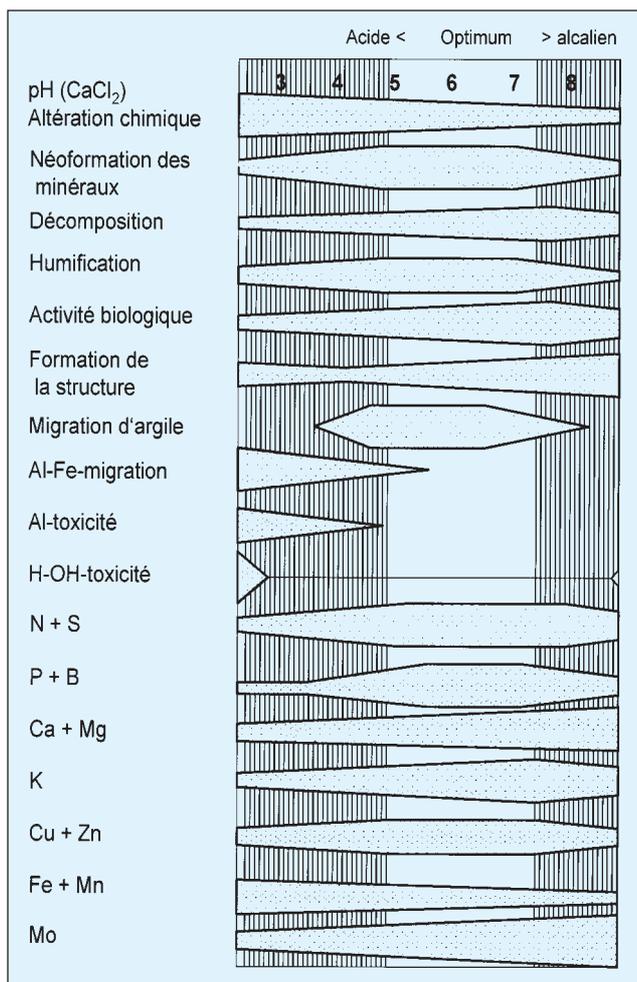
Exemple pour un sol moyen: 7,9 mg P/kg = facteur 0,9.

4.2.4.3 pH (interprétation de l'adéquation du site)

L'activité du sol, tout comme la disponibilité de la majeure partie des éléments nutritifs et des métaux lourds dépend du pH. Toute intervention entraînant une variation brutale du pH, comme par exemple un chaulage excessif, est à proscrire. La mesure la plus importante et la plus simple à observer en vue de maîtriser le pH est le choix juste de l'engrais utilisé.

La valeur pH (mesurée dans l'eau) qui est favorable à l'arboriculture oscille entre 6,0 et 7,5, pour les baies entre 5,0 et 7,0, pour les myrtilles elle devrait être inférieure à un pH de 4,0. A l'étranger, les mesures de routine du pH se font souvent en CAL ou KCl; raison pour laquelle les mesures locales oscillent entre 0,5 et 1 unités-pH plus bas que celles en suspension d'eau.

Fig. 12: Schéma des relations entre pH, facteurs pédogénétiques (locaux) et écologiques (la largeur des bandes détermine l'intensité des processus et la disponibilité des éléments nutritifs; Schroeder 1984).



Une augmentation de la valeur pH peut être provoquée par des apports de chaux (voir chap. 4.2.4.4). Une baisse du pH est, par contre, plus difficile à réaliser. Le mulching a tendance à baisser le pH du sol. En général, l'apport d'engrais de base contenant de la chaux suffit à maintenir un pH stable. L'utilisation systématique d'engrais à effet acidifiant (voir tab. 18) peut, en quelques années et selon le terrain, provoquer une baisse du pH.

4.2.4.4 Chaulage

L'éventualité d'un chaulage du sol se base sur la valeur pH du sol et sur sa teneur en Ca, sur la base d'une extraction AAE10. Vous trouverez la quantité recommandée en tableau 9.

Tab. 9: Chaulage (à l'oxyde de calcium (CaO) en kg CaO/ha et année) en fonction du pH et du calcium réserve du sol.

Description du sol	pH (H ₂ O)	Dose en kg CaO/ha et année				
		A < 1000	B 1000-2000	C 2000-20 000	D 20 000-40 000	E > 40 000
très acide	< 5,5	420	390	350	140	70
acide	5,5-5,9	350	200	140	100	35
peu acide	6,0-6,4	240	140	100	70	0
neutre	6,5-6,9	200	100	70	35	0
peu alcalin	7,0-7,4	140	70	35	0	0
alcalin	< 7,5	35	35	0	0	0

Pour les engrais, voir tableau 22. L'apport d'engrais dépendra de sa teneur en CaO (en %), voir tableau 23. Le CaCO₃ apposé sur le sac d'engrais indique l'efficacité de la chaux. La seule indication de teneur en Ca n'apprend rien sur son efficacité.

Un amendement calcaire est systématiquement conseillé pour des sols dépourvus de CaCO₃ et à un pH inférieur à 5,9. Pour les sols sans calcaire et à pH entre 5,9 et 6,5 on utilise de préférence des engrais calcifiants (cf. chap. 5.3, tab. 22), toutefois ces engrais ne peuvent pas suffire et un chaulage peut s'avérer nécessaire. Des apports de CaO allant jusqu'à 100 kg/ha peuvent en règle générale être fournis par des engrais composés. Le tableau 22 renseigne sur les caractéristiques des différents engrais contenant de la chaux.

Les apports annuels indiqués en tableau 9 correspondent à une fumure de base. L'amendement calcaire présuppose des quantités bien supérieures qui seront déterminées (voir tab. 10) sur la base de la *saturation basique* et de la capacité d'échange des cations (voir glossaire). Ces deux paramètres peuvent être déterminés par analyse dans les cas exceptionnels, c'est-à-dire, dans les vergers à problèmes lorsque l'on soupçonne les capacités de réserve et de disponibilité des éléments nutritifs d'être à l'origine des problèmes de nutrition de la plante (voir tab. 5).

Différence entre engrais calcaires et engrais chaulants

Un engrais calcaire (engrais Ca) permet d'améliorer directement l'approvisionnement de la plante en Ca. Dans nos conditions usuelles d'exploitation, les engrais Ca ont un rôle mineur à jouer (en général, le Ca est suffisamment présent dans le sol).

Un engrais chaulant est composé de substances à action basifiante, à base de carbonates naturels (marne calcaire, roche calcaire, dolomite), obtenus par procédé physique (mouture) ou chimique. Ils sont surtout appliqués en vue d'augmenter le pH et le potentiel de réaction du sol.

Le CaCO₃ apposé sur le sac d'engrais indique l'efficacité de la chaux. La seule indication de teneur en Ca n'apprend rien sur son efficacité.

Tab. 10: Mesure d'apports de chaux sur la base de la *saturation basique* et de la capacité d'échange des cations (CEC) du sol.

Saturation basique (en %; voir tab. 5)		Apport en chaux (kg CaO/ha) selon la capacité d'échange des cations (mâq/100 g sol)			
Grandes cultures & prairies artificielles	Prairies naturelles	< 10	10-15	15-20	> 20
> 60	> 50	0	0	0	0
50-60	40-50	730	1250	1550	2000 ¹
40-49	30-39	1000	1900	2150 ¹	2800 ¹
< 40	< 30	1300	2450	2750 ¹	3600 ¹

¹ Répartition en 2-3 apports répartis sur 2-4 ans, sur sols lourds. Sur sols légers, dès 1000 kg/ha et année. Il est recommandé d'opérer un contrôle du pH avant les 2^{ème} et 3^{ème} apports.

Source: Walther et al. 2001.

4.2.4.5 Bore, fer, manganèse et autres micro-éléments

Les racines des arbres et de la couverture herbeuse semée, tout comme les micro-organismes du sol colonisent le sol et arrivent ainsi à mettre à disposition des plantes des matières nutritives en quantités suffisantes de sorte telle que les cultures fruitières enherbées ne connaissent pas de situations de carence de micro-éléments.

Une carence est rarement due au manque quantitatif de cet élément mais bien souvent à sa disponibilité pour la plante. L'amélioration de l'activité biologique du sol, en promouvant l'exploration racinaire, l'apport de matière organique et en évitant le tassement et l'imperméabilisation du sol, sont une aide dans ce sens. Un pH du sol trop élevé ou trop bas peut entraver la disponibilité de micro-éléments pour la plante. A court terme, on ne peut remédier à une carence en micro-éléments que par la fumure foliaire.

Bore

Le bore joue un rôle important lors de la nouaison et du développement des fruits. Sa carence ou son excès peut les perturber gravement. L'analyse de sol permet d'évaluer la réserve en bore du sol et de définir le seuil de carence et de toxicité. La carence comme l'excès provoquent de fortes diminutions de végétation et de rendement (couleur).

Le bore est assimilé par la plante sous forme d'acide borique ou de borate. Dans le sol, il est adsorbé par les particules d'argile. Avec un pH supérieur à 7, l'absorption du bore par le sol peut être si forte que sa disponibilité pour la plante en est réduite au point d'amener à des symptômes de carence (flétrissement des fleurs, croissance des pousses ralentie). En arboriculture, les besoins annuels en bore sont de l'ordre de 2 kg/ha.

En cas de soupçon de carence en oligo-éléments, l'augmentation de leur disponibilité peut être obtenue par l'apport d'engrais organiques. A court terme, la lutte contre les symptômes d'une carence ne se fait que par la fumure foliaire (chap. 5.2.5).

Une analyse du sol (extrait à l'eau chaude) permet de déterminer la classe d'approvisionnement en éléments nutritifs à laquelle il appartient. Cette classe permettra de déterminer l'apport nécessaire par la fumure, thème du chapitre 5.1.3 (tab.19).

Fer et manganèse

Le fer est généralement disponible à profusion dans le sol. En général, les sols bien aérés qui se prêtent à l'arboriculture contiennent suffisamment de fer.

L'assimilation du fer a lieu suite à une réduction qui a lieu à la surface des racines ou par des substances sécrétées par les racines en vue de former des complexes. Par l'influence d'un pH trop élevé dans un sol humifère tassé et insuffisamment aéré à cause d'eau stagnante, la disponibilité du fer et du manganèse diminue, ce qui peut mener, malgré une teneur élevée du sol en ces éléments, à l'apparition de symptômes de carences (chlorose des jeunes feuilles).

Une analyse du sol permet, ici également, de déterminer la classe d'approvisionnement en fer et manganèse à laquelle il appartient (Walther et al. 2001; GRUNDAF). Le choix de la fumure de correction appropriée dépendra fortement de la situation (chap. 5.1.3; fumure foliaire: voir chap. 5.2.5).

4.3 Le diagnostic foliaire

4.3.1 But et possibilités d'utilisation de l'analyse foliaire

Moyen encore peu répandu dans la pratique, l'analyse foliaire sert à contrôler le niveau nutritionnel des plantes durant la saison. Elle est complémentaire aux autres moyens d'investigation. Elle ne peut pas, à elle seule, servir à l'établissement d'un plan de fertilisation. Les teneurs en N, P, K, Ca et Mg sont déterminées par analyse de routine. D'autres éléments, en particulier, les oligo-éléments tels que par exemple le bore (B), le manganèse (Mn), le fer (Fe) et le zinc (Zn), peuvent aussi être analysés.

L'analyse foliaire rend de réels services dans la détection des carences latentes et des antagonismes entre éléments. Suivant le régime hydrique et les divers horizons du profil, les racines de l'arbre voient leur capacité d'absorption et la disponibilité des divers éléments nutritifs varier fortement. En complément aux observations faites dans le profil cultural et aux résultats d'analyse de sol, elle permet de se faire une idée de la dynamique du pool alimentaire du sol.

La concentration des éléments nutritifs dans la feuille dépend fortement du stade de développement (âge) de la feuille, des conditions météorologiques et d'autres facteurs, ce qui rend ardue l'interprétation des résultats. Le moment choisi pour la prise d'échantillon (prélèvement) est déterminant car les teneurs en éléments nutritifs de la feuille varient pendant l'année (fig. 13; Tagliavini et al. 1992). La méthode de production aura, elle aussi, une influence significative sur les teneurs de la feuille en éléments nutritifs (Nielsen et al. 1995).

4.3.2 Directives pour le prélèvement

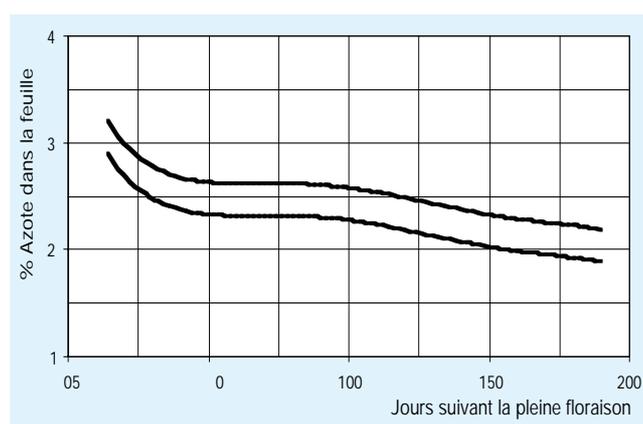
Prélever, par zone à étudier, 100 feuilles avec pétiole. Choisir une feuille située au milieu d'une pousse annuelle dont la grandeur et l'inclinaison (environ 30 degrés) sont représentatives du verger.

Si pour comprendre un accident de culture on doit prélever à un autre moment, il y a lieu de prélever 2 échantillons

comparables. Cela signifie qu'on fournira au laboratoire un échantillon sain et un échantillon malade, d'âge, de variété et de porte-greffe semblable. En cas de doute s'adresser, avant le prélèvement, au laboratoire ou au service de vulgarisation compétent.

Le prélèvement peut déjà se faire au stade T, si l'on envisage de prendre des mesures dans le courant de l'année. Le prélèvement des feuilles à lieu, en règle générale, entre 75 et 105 jours après la pleine floraison.

Fig. 13: Teneur optimale en azote dans la feuille au courant de la période de culture (jours après la pleine floraison) dans des cultures de pommiers au Tyrol du Sud de 1995 à 1998 (Aichner and Stimpfl 2001; Mantinger 2001).



4.3.3 Interprétation

Pour interpréter des résultats d'analyse foliaire il faut disposer de valeurs de références provenant de la littérature ou de matériel végétal identique considéré comme sain.

Depuis 1976, la RAC a créé une base de données pour les arbres fruitiers, les résultats de l'évolution de la référence Golden sont consignés à la figure 14. Les valeurs de références moyennes pour quelques espèces figurent au tableau 11.

Par rapport à la valeur de référence (moyenne) les résultats se trouvant à l'intérieur de la plage comprenant plus ou moins un écart-type sont considérés comme bons. Les résultats sont appréciés comme étant faibles, très faibles, respectivement élevés, très élevés lorsqu'ils s'écartent de la moyenne de un, respectivement deux écart-types.

Tab. 11: Références du diagnostic foliaire en arboriculture fruitière stade 75 à 105 jours après pleine floraison, les valeurs sont exprimées en % de la matière sèche.

Espèce, var.	N			P			K			Ca			Mg		
	TF	Bon	TE	TF	Bon	TE	TF	Bon	TE	TF	Bon	TE	TF	Bon	TE
Pommier	< 1,93	2,13-2,51	> 2,71	< 0,172	0,190-0,224	> 0,242	< 1,40	1,57-1,89	> 2,06	< 1,08	1,25-1,59	> 1,76	< 0,200	0,228-0,284	> 0,312
Golden	< 2,11	2,24-2,50	> 2,63	< 0,171	0,185-0,215	> 0,229	< 1,43	1,59-1,89	> 2,05	< 1,08	1,29-1,71	> 1,92	< 0,186	0,228-0,312	> 0,354
Elstar	< 1,88	2,11-2,55	> 2,78	< 0,179	0,202-0,248	> 0,271	< 1,46	1,57-1,79	> 1,90	< 1,31	1,40-1,56	> 1,64	< 0,181	0,201-0,239	> 0,259
Maigold	< 1,88	2,07-2,45	> 2,64	< 0,163	0,180-0,212	> 0,229	< 1,31	1,55-2,01	> 2,25	< 0,92	1,10-1,48	> 1,66	< 0,205	0,241-0,315	> 0,351
Poirier	< 1,46	1,87-2,71	> 3,12	< 0,110	0,149-0,229	> 0,268	< 0,69	1,06-1,81	> 2,19	< 1,10	1,43-2,09	> 2,42	< 0,234	0,293-0,411	> 0,470
Prunier	< 2,02	2,26-2,74	> 2,98	< 0,152	0,152-0,238	> 0,238	< 1,75	2,03-2,57	> 2,85	< 1,67	1,96-2,54	> 2,83	< 0,262	0,306-0,394	> 0,438
Cerisier	< 1,94	2,17-2,63	> 2,86	< 0,152	0,174-0,216	> 0,238	< 1,75	2,03-2,57	> 2,85	< 1,41	1,65-2,15	> 2,39	< 0,225	0,262-0,338	> 0,375
Abricotier	< 2,19	2,40-2,80	> 3,01	< 0,133	0,159-0,209	> 0,235	< 2,30	2,58-3,14	> 3,42	< 1,61	1,90-2,46	> 2,75	< 0,276	0,347-0,487	> 0,558
Pêcher	< 2,84	3,18-3,86	> 4,20	< 0,166	0,190-0,236	> 0,260	< 2,13	2,46-3,12	> 3,45	> 1,77	2,08-2,70	> 3,01	< 0,352	0,411-0,529	> 0,588

Un valeur < TF, est qualifié de «très faible».

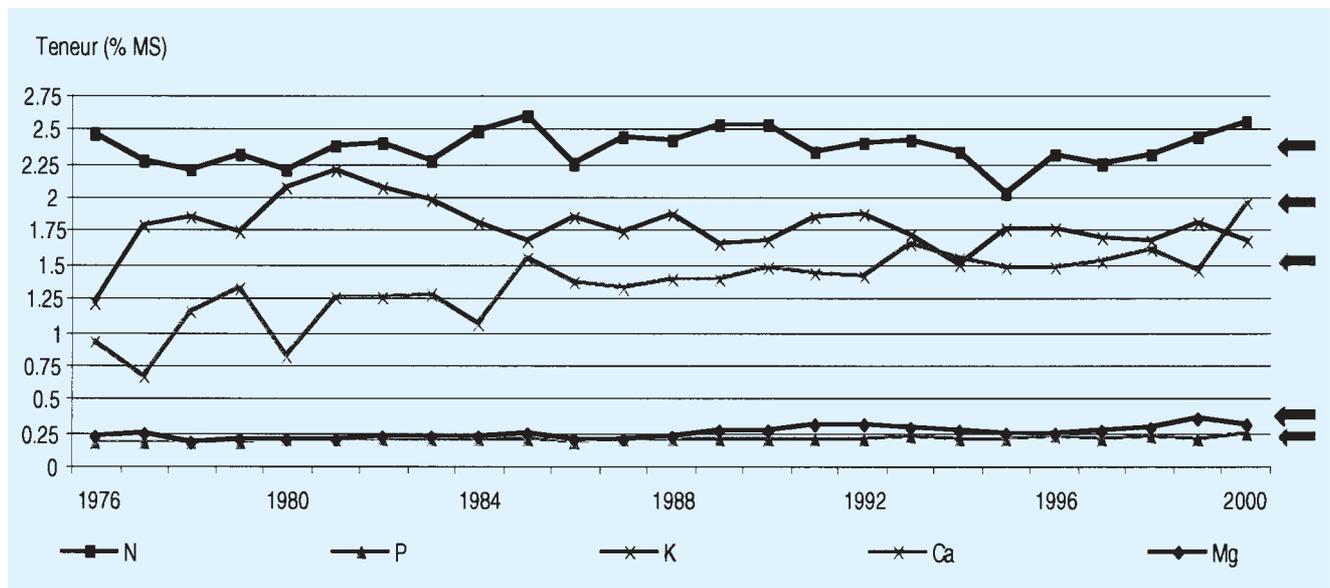
Un valeur situé entre TF et la valeur basse de «bon» est qualifié de «faible».

Un valeur situé entre la valeur élevée de «bon» et TE est qualifié d'«élevé».

Un valeur > TE est qualifié de «très élevés».

4 ÉVALUATION DU SITE

Fig. 14: Teneur en éléments fertilisants des feuilles de Golden Delicious sur M9, réseau Suisse romande, évolution de 1976 à 2000. Moyenne des parcelles de référence, valeurs en % de la matière sèche, changement de la norme en 1986; ◁: Moyenne 1986–2002 (Ryser, non publié).



De 1976 à 2000, un réseau de verger de Golden Delicious sur M9 a été systématiquement suivi par des analyses foliaires. Les échantillons ont été prélevés 75 jours après le stade pleine floraison. Les résultats (fig. 14) montrent les variations liées à l'année.

4.3.4 Autres mesures et possibilités d'utilisation

D'un point de vue pratique, la question se pose de savoir si, en parallèle à des méthodes chères et relativement complexes, il existait d'autres possibilités d'établir un diagnostic de l'état nutritionnel de la plante sur la base des teneurs en éléments nutritifs des feuilles.

En grandes cultures on utilise, comme moyen auxiliaire d'estimation des besoins en azote, une méthode basée sur la mesure de la pigmentation verte de la feuille qui renseigne sur sa teneur en chlorophylle et sur le degré nutritionnel de la plante. Pour ce faire, on utilise un appareil manuel pratique (le N-tester, appareil SPAD). La mesure ponctuelle de la feuille est facile à réaliser, immédiate et, mis à part l'acquisition de l'appareil, pratiquement sans frais.

Ces mesures apportent-elles à l'arboriculteur des informations suffisamment précoces en vue de déceler des situations de carence pour ce qui est de l'azote, le fer, le manganèse et le magnésium? Lorsque l'on aperçoit les chloroses et les nécroses sur les feuilles (par exemple en cas de carence de magnésium sur Golden Delicious), le mal est fait et toute mesure de fumure ultérieure sera tardive et sans effet sur le rendement et la qualité des fruits.

Des essais particuliers montrent que pour le pommier également, la mesure effectuée à l'aide de l'instrument cité plus haut est en corrélation avec le degré nutritionnel de la feuille (fig. 15; Evequoz et Bertschinger 2001; Porro et al. 2001), permettant probablement un diagnostic préventif à même de détecter les situations de carences avant qu'elles ne soient visibles à l'œil. En fait, les fluctuations entre variétés et cultures fruitières sont si importantes qu'un étalonnage de la méthode apparaît nécessaire. Celui-ci n'ayant pas encore été réalisé, la méthode ne peut pas être conseillée de manière générale.

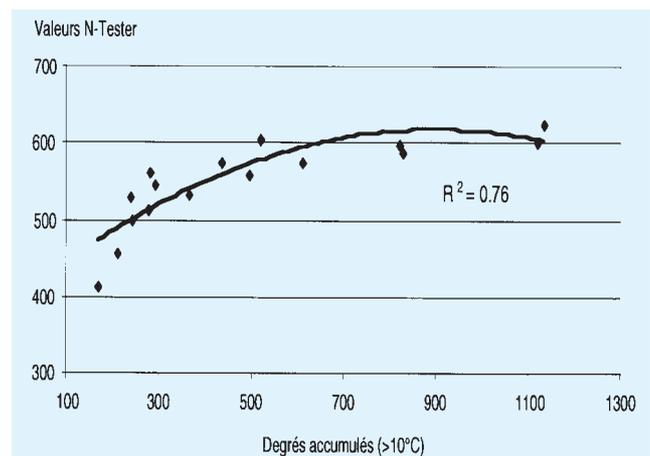


Fig. 15: Corrélation entre les valeurs du N-tester et la teneur en azote des feuilles d'une culture fruitière de la variété Golden Delicious en Valais, 1999–2001 (Evequoz und Bertschinger, 2001).

4.4 Analyse de la fleur, du bourgeon et du fruit

Le niveau nutritionnel d'une culture arboricole pourrait-il être simplement apprécié sur la base d'autres parties de la plante que la feuille si l'appréciation de celle-ci s'avérait impossible (chap. 4.3.4)? Pour les cultures arboricoles dont le système floral se développe avant le système foliaire (p. ex. cerisier et pêcher), l'analyse de la fleur devrait offrir des possibilités. La détermination des teneurs en fer, manganèse, magnésium et azote dans les pétales de pêcher, de poirier et de pommier montrent que cette méthode n'est pas encore praticable (Sanz et al. 1997, Sanz and Montanes 1995, Bertschinger, non publié 1997).

Le bourgeon pourrait également servir de substrat à une analyse permettant de diagnostiquer l'état nutritionnel de la cul-

ture. Il n'y a cependant ni étude ni indications d'une méthode utilisable dans la pratique.

Enfin, l'analyse de jeunes fruits pourrait aussi fournir des indications précoces sur le développement qualitatif du fruit (éventuels troubles physiologiques) et, cas échéant, prendre les mesures qui s'imposent (fumure du sol, des feuilles, limitation de récolte). Les troubles physiologiques sont étroitement liés aux rapports K/Ca et N/Ca ainsi qu'à d'autres données de référence. Alors que l'on dispose de quelques expériences sur les valeurs limites de ces données au moment de la récolte (pronostic du risque des tâches amères pendant la conservation), on dispose de peu de résultats d'analyses de jeunes fruits (environ 70 g). Des prévisions fiables présupposent des études spécifiques aux différents terrains sur plusieurs années et une bonne prévision du poids du fruit à la récolte (Mantinger 2001). Les dernières études semblent montrer que le rapport K/Ca dans les jeu-

nes fruits au stade T pourrait servir de chiffre clé pour des pronostics. Des valeurs K/Ca supérieures à 5,7 au stade T dévoilent une augmentation du risque de tâches amères (Weibel 1999). Ces expériences nécessitent néanmoins d'être confirmées avant de pouvoir être mises en application en vue de fournir un conseil plausible aux différentes variétés.

Toutes ces méthodes peuvent, dans le meilleur des cas, servir de base décisionnelle afin de corriger à court terme un déséquilibre nutritionnel de la plante. Elles ne remplacent ni une fumure globale de la culture qui soit conforme au terrain et corresponde aux besoins nutritionnels de la plante (voir chap. 1 à 3) ni des soins culturaux ayant pour but l'équilibre physiologique. Ce sont ces dernières mesures qui offrent la meilleure garantie de pouvoir se passer de corrections chères et à court terme de l'état nutritionnel de la culture.

Pourquoi des analyses de feuilles, de bourgeons, de fleurs ou de fruits?

Les méthodes décrites dans les chapitres 4.3 et 4.4 envisagent, sur la base de l'état nutritionnel d'un seul organe, de déterminer l'état nutritionnel de la plante entière.

Les résultats de ces méthodes d'analyse sont fortement dépendants du moment et de l'endroit du prélèvement des échantillons ainsi que de la variété. Il n'existe pas encore de méthode qui permette de standardiser les valeurs mesurées. Elle serait pourtant nécessaire afin d'éliminer les différences dues au terrain, à la région, à la variété et au moment du prélèvement.

Ces résultats peuvent néanmoins apporter à l'arboriculteur expérimenté de précieuses indications sur l'état de ses cultures. Ils complètent les informations provenant des analyses de sol et des observations visuelles, pour autant que la poursuite de ces investigations se fasse sur la même culture et pendant plusieurs années avec une expérience suffisante de l'interprétation des indications. La tâche est considérable et peu d'exploitations sont prêtes à s'y engager et en ont les moyens.

Les raisons évoquées expliquent que ces méthodes ne puissent pas être utilisées pour le calcul des apports de fumure autorisées dans le respect des diverses exigences de culture PER (prestations écologiques requises), exigences pour la culture PI ou biologique. Les résultats de ces méthodes d'analyse peuvent sans autre être appliqués dans le sens mentionné ci-dessus, dans la mesure où les prescriptions des exigences applicables sont respectées.

5.1 Norme et facteurs de correction en fonction des besoins et du terrain

En terrain normalement fertile, les besoins nutritionnels d'une culture fruitière en période de pleine production peuvent être couverts par la «Norme de fumure», sur la base des prélèvements d'une culture particulière dont le rendement est déterminé. Pour de multiples raisons, la norme sera plus élevée que les prélèvements (voir chap. 2 et fig. 2). En règle générale, la différence entre norme et prélèvement, tout comme les résidus de culture (mulching, feuilles et bois de taille) et l'azote prélevé de l'atmosphère (voir chap. 3.3) suffisent à couvrir les besoins pour la croissance des parties ligneuses.

Si l'on a à faire à des conditions particulières de terrain ou de croissance, la norme peut être corrigée. Les principes de base à l'origine des facteurs de correction sont présentés pour l'azote au chapitre 4.1.1, figure 3 (bases de correction: observation de la culture), pour le phosphore, la potasse et le magnésium au chapitre 4.1.1, figure 4 (bases de correction: observation de la culture) et 4.2.4.3 (base de correction: analyse du sol).

Les valeurs «Normes» et «Normes corrigées» présentées ci-après sont applicables pour le bilan global de l'exploitation (Suisse-Bilan) dont nous parlerons au chapitre 6.2. Elles sont le fruit de nombreuses études et d'expériences recueillies en conditions suisses (p. ex. Bertschinger et al. 1997, Schumacher et al. 1981, Schumacher et Stadler 1988, Schumacher et Stadler 1991, Ryser et Pittet 1993, Ryser et al. 1995, Ryser et Pittet 1999, etc.), de résultats d'essais à l'étranger (p. ex. Deckers et al. 2001, Fallahi et al. 2001), de *prélèvements de cultures* à niveau de rendement spécifique et de l'expérience des spécialistes qui ont contribué à l'établissement du présent ouvrage.

Pour P, K et Mg, tenir compte de la roche-mère et des antagonismes (chap. 4.2.1): pour sols riches ou très riches en K (classe d'approvisionnement D = réserve ou E = très riche), les apports en Mg ne doivent pas être inférieurs à 20 kg/ha/an pour éviter l'antagonisme K - Mg, sauf si Mg est également en classe d'approvisionnement D ou E.

Les apports de N, P et K sont arrondis à 5 kg/ha.

La norme se rapporte à la totalité de la surface de culture. Il est recommandé de fractionner l'apport de N en 2 à 3 apports pendant la période de végétation. En général, l'engrais est épandu directement sur la ligne d'arbres, de sorte à mettre les nutriments directement à disposition des racines, alors qu'un épandage à bande large occasionnel sera destiné à promouvoir le développement d'une couverture herbeuse résistante au passage des machines. Observer les règles de l'épandage sur la ligne d'arbres (chap. 5.2.1).

La fumure d'une culture en phase de croissance présuppose la détermination du rendement visé ultérieurement, en phase de pleine production. La norme (correction comprise) est calculée pour ce rendement escompté. Durant la phase de croissance, (jusqu'au début de la phase de pleine production), au fur et à mesure des années, les apports peuvent être majorés d'une demi ou pleine norme corrigée pour soutenir la croissance ligneuse et les premiers rendements (voir chap. 5.2.7). La durée de la phase juvénile dépend du terrain et du type de culture choisi et représente au maximum 5 ans.

Tab. 12: Normes de fumure pour cultures fruitières en phase de pleine production pour les fruits à pépins, à noyau et les baies en fonction du rendement (rendements usuels).

Culture	Rendement (kg/m ²)	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	Mg (kg/ha)
Pommier, poirier	2	40	10	40	5
	3	50	15	60	10
	4	60	20	75	10
	5	70	25	90	15
	6	80	30	110	20
Cerisier	0,8	40	15	40	5
	1,2	60	20	50	10
	1,6	80	30	65	15
Prunier	1,0	40	10	35	5
	1,5	60	15	50	5
	2,0	80	20	65	10
Abricotier	1,5	45	20	60	5
	2	60	25	75	10
	2,5	75	30	90	15
Pêcher	1,5	45	10	45	5
	2	60	15	55	10
	2,5	75	20	70	15
Kiwi	1,5	40	10	60	5
	2	50	15	75	5
	2,5	65	20	90	10
Framboise	1	30	20	45	10
	1,5	45	30	60	15
	2	60	40	80	15
	2,5	75	50	90	20
Ronces	1,5	40	25	45	15
	2	55	35	65	15
	2,5	70	45	85	20
Groseilliers à grappes	1,5	60	30	90	15
	2	85	45	120	15
	2,5	110	60	150	20
Cassis	1,5	50	30	85	15
	2	70	40	120	15
	2,5	90	50	155	20
Groseilliers à maquereaux	1,2	40	25	60	15
	1,7	60	35	80	15
	2,2	80	45	110	20
Myrtilles	1	30	20	50	10
	1,5	35	25	60	15
	2	40	30	70	20

5.1.1 Azote

5.1.1.1 Comportement de l'azote dans le sol et le végétal

La teneur en azote minéral du volume de sol exploré par les racines dépend de l'interaction complexe de phénomènes de minéralisation, de réorganisation et de lessivage. Divers facteurs, tels que le taux de matière organique, les caractéristiques physiques du sol, l'importance et la répartition des précipitations ainsi que les pratiques d'irrigation et le travail du sol, vont influencer notablement l'offre en azote minéral.

Au niveau de la plante, les composés azotés sont très mobiles, ils se trouvent surtout dans les organes jeunes. L'azote joue un rôle plastique (édification des structures cellulaires) et physiologique important (enzymes, hormones végétales...). Les besoins en azote sont surtout importants en début de saison avec un maximum au moment de la floraison nouaison. Si des conditions favorables d'alimentation au niveau du sol et d'équilibre physiologique au niveau du végétal sont réalisées, la plante est à même de stocker des composés azotés qui pourront être mobilisés aux périodes critiques d'alimentation (par exemple au printemps de l'année suivante).

5.1.1.2 Calcul de la fumure azotée et ses limites

L'élément azote est celui qui influence le plus la vigueur, il sera apporté essentiellement en fonction de l'observation du végétal. L'appréciation se fait en recherchant un équilibre physiologique idéal (rapport feuille/fruit, aoûtement du bois) garant de production régulière de fruits de qualité et de bonne conservation.

Les tableaux 13 à 17 établissent un système avec les indices de correction à attribuer à différents facteurs respectivement pour les fruits à pépins, les fruits à noyau, les framboisiers et ronces, les cassissiers, groseilliers et myrtilliers ainsi que les kiwis. Les principes du système sont établis dans les chapitres 4.1.1. La somme de ces indices permet de déterminer la fumure azotée annuelle à prévoir pour une application sur la surface entière du verger.

Le volume occupé par les cailloux peut être estimé (en pourcentage du volume du sol exploitable par les racines) de la manière suivante: si, lors de la prise d'échantillon il faut repiquer chaque cinquième ou sixième fois, la part des pierres est inférieure à 30%. S'il faut repiquer plus souvent, la part de cailloux sera supérieure aux 30%.

La correction de la fumure azotée permet une modulation maximale de la norme allant de -54 kg/ha à +30 kg/ha dans le cas du pommier. En principe les problèmes d'un verger qui nécessite un apport d'azote qui dépasse 100 kg/ha, ne peuvent pas être résolus par la fumure azotée qui n'est pas le seul moyen d'influencer l'équilibre physiologique de l'arbre. La sévérité de la taille et de l'éclaircissage des fruits, les pratiques d'irrigation ou d'entretien du sol peuvent conditionner dans une large mesure l'expression végétative de l'arbre. En cas de végétation insuffisante avec les doses maximales recommandées, la cause doit être recherchée ailleurs, par exemple au niveau de pratiques culturales inadéquates (irrigation, entretien du sol), de structure du sol défavorable ou encore dans un choix de matériel végétal inadéquat aux conditions de sol et de climat.

avorable ou encore dans un choix de matériel végétal inadéquat aux conditions de sol et de climat.

Tab. 13: Correction de la fumure azotée en verger de fruits à pépins en phase de pleine production (valeurs correctives en kg/ha).

1. pousse annuelle/ état des feuilles	Excessive/ bonne: -10	Normale: 0	Faible/ pauvre: +10	
2. Aoûtement	Tardif: -5	Normale: 0	Précoce: +5	
3. Formation des boutons génératifs	Tardif: -5	Normal: 0	Forte: +5	
4. Importance de la récolte précédente	Faible: -5	Normal: 0	Forte: +5	
5. Tendance aux maladies physiologiques	Oui: -5	Normal: 0	Non: 0	
6. Porte-greffe	Profondeur utile du sol			
	> 80 cm	40-80 cm	< 40 cm	
	Très vigoureux	-10	-5	0
	Moyennement vigoureux	-5	0	0
Faible	0	+5	+10	
7. Volume occupé par les cailloux	Faible (< 10%): -5	Moyen (10-30%): 0	Forte (> 30%): +5	
8. Teneur en MO (cf. tab. 6)	Élevé: -10	Satisfaisant: 0	Faible: +10	

Base de calcul: norme en fonction de l'objectif de rendement
 Pour une jeune culture, on détermine le rendement visé, rendement pour lequel on calculera la norme (correction comprise), comme si la culture était déjà en pleine production. En phase de croissance, les apports peuvent représenter la moitié de la norme entière (voir chap. 5.2.7).

Exemple de calcul:
 Verger de Golden Delicious/M9 vf, rendement de 4 kg/m², sol léger, profondeur > 80 cm.

Croissance annuelle/ état des feuilles	Normal/Normal	0
Aoûtement	tardif	-5
Formation des boutons générative	Normal	0
Importance de la récolte précédente	Normale	0
Tendance aux maladies physiologiques	Normal	0
Porte-greffe/volume exploré	Moyen/> 80 cm	-5
Volume occupé par les cailloux	> 30%	+5
Teneur en MO	2,5%	0
Somme des indices de correction		-5

La correction négative (-5 kg N/ha) intervient en correction de la norme de fumure pour un verger équilibré (4 kg/m² = 60 kg/ha/an). La fumure azotée recommandée pour notre verger sera donc de 60 - 5 = 55 kg N/ha/an.

Les apports en éléments nutritifs du tableau 13 représentent les besoins totaux de la culture par hectare. Tout apport en élément nutritif à la culture par mobilisation de la matière organique (par exemple par travail du sol ou mulching) ou par fumure foliaire doit être soustrait, particulièrement dans les cas où des quantités importantes de matières nutritives sont mises à disposition de l'arbre. C'est dans ces cas en particulier qu'il est possible d'éviter les conséquences négatives qu'aurait sur la croissance de la plante et sur la qualité des fruits des apports trop élevés en azote.

Tab. 14: Correction de la fumure azotée en verger de fruits à noyau en pleine production (valeurs correctives en kg/ha).

1. Croissance annuelle/ état des feuilles	Excessive/ bonne: -10	Normal: 0	Faible/ pauvre: +10	
2. Aoûtement, chute des feuilles	Tardif: -5	Normal: 0	Précoce: +5	
3. Formation des boutons génératifs	Tardif: -5	Normal: 0	Forte: +5	
4. Importance de la récolte précédente	Faible: -5	Normal: 0	Forte: +5	
5. Porte-greffe	Profondeur utile du sol			
	> 80 cm	40-80 cm	< 40 cm	
	Vigoureux	-10	-5	0
	Moyennement vigoureux	-5	0	0
Semi-nanisant à nanisant	0	+5	+10	
6. Volume occupé par les cailloux	Faible (< 10%): -5	Moyen (10-30%): 0	Forte (> 30%): +5	
7. Teneur en MO (cf. tab. 6)	Élevé: -10	Satisfaisant: 0	Faible: +10	

30 à 50 kg N/ha l'année de l'enherbement.

Base de calcul: norme en fonction de l'objectif de rendement.
 Pour une jeune culture, on détermine le rendement visé, rendement pour lequel on calculera la norme (correction comprise), comme si la culture était déjà en pleine production. En phase de croissance, les apports peuvent représenter la moitié de la norme entière (voir chap. 5.2.7).

Exemple de calcul:

Verger de cerises en pleine production, croissance forte (F12/1), 16 t/ha, pyramide 3,5 m, sol moyennement lourd (25% d'argile)

Pousse annuelle/ état des feuilles	excessive/bonne	-10
Aoûtement	tardif	-5
Formation des boutons générative	faible	-5
Importance de la récolte précédente	normale	0
Porte-greffe/volume exploré	vigoureux/> 80 cm	-10
Volume occupé	< 10%	-5
Teneur en MO	1,3%	+10
Somme des indices de correction		-25

La correction négative (-25 kg N/ha) intervient en correction de la norme de fumure pour un verger équilibré (1,6 kg/m² = 80 kg/ha/an). La fumure azotée recommandée pour notre verger sera donc de 80-25 = 55 kg N/ha/a.

Verger de cerises en pleine production, croissance, faible (Weiroot 53), 14 t/ha, fuseau, 3 m, sol lourd (> 30% d'argile)

Pousse annuelle/ état des feuilles	normal	0
Aoûtement	précoce	+5
Formation des boutons générative	normal	0
Importance de la récolte précédente	normale	0
Porte-greffe/volume exploré	nanisant/< 40 cm	+10
Volume occupé	20%	0
Teneur en MO	2,0%	+10
Somme des indices de correction		+25

La correction positive (+25 kg N/ha) intervient en correction de la norme de fumure pour un verger équilibré (1,4 kg/m² = 70 kg/ha/an). La fumure azotée recommandée pour notre verger sera donc de 70 + 25 = 95 kg N/ha/an.

Tab. 15: Correction de la fumure azotée sur framboisiers - ronces.

1. Vigueur (longueur des tiges)	Excessive: -11	Normal: 0	Faible: +11
2. Aoûtement	Tardif, gel d'hiver: -3	Normal: 0	Précoce: +2
3. Maladies fongiques (Botrytis, Dydimella...)	Fréquentes: -2		Rares: 0
4. Drageonnement	Fort: -3	Moyen: 0	Faible: +1
5. Volume occupé par les cailloux	Faible (< 10%): -3	Moyen (10-30%): 0	Elevé à très élevé (> 30%): +3
6. Teneur en MO (cf. tab. 6)	Elevé: -5	Satisfaisant: 0	Faible: +5
7. Entretien du sol	Sol nu: -3		Sol enherbé: +10

Base de calcul: norme en fonction de l'objectif de rendement
 La base de calcul correspond à une situation intermédiaire pour tous les critères.

Chaque point d'indice équivaut à 1 kg N/ha à retrancher (-) ou à ajouter (+) à la norme.

Exemple de calcul: voir l'exemple de calcul de la fumure azotée du pommier et du poirier sous tab. 13.

Tab. 16: Correction de la fumure azotée sur cassisiers, groseilliers et myrtilliers.

1. Vigueur (longueur des tiges)	Excessive: -15	Normal: 0	Faible: +11
2. Chute des feuilles	Tardif: -4	Normal: 0	Précoce: +3
3. Volume occupé par les cailloux	Faible (< 10%): -3	Moyen (10-30%): 0	Elevé à très élevé (> 30%): +3
4. Teneur en MO (cf. tab. 6)	Elevé: -5	Satisfaisant: 0	Faible: +5
5. Entretien du sol	Sol nu: -3		Sol enherbé: +3

Base de calcul: norme en fonction de l'objectif de rendement
 La base de calcul correspond à une situation intermédiaire pour tous les critères.

Chaque point d'indice équivaut à 1 kg N/ha à retrancher (-) ou à ajouter (+) à la norme.

Exemple de calcul: voir l'exemple de calcul de la fumure azotée du pommier et du poirier sous tableau 13.

Tab. 17: Correction de la fumure azotée sur kiwis.

1. Vigueur	Excessive: -30	Normal: 0	Faible: +15
2. Volume occupé par les cailloux	Faible (< 10%): -8	Moyen (10-30%): 0	Elevé à très élevé (> 30%): +6
3. Teneur en MO (cf. tab. 6)	Elevé: -12	Satisfaisant: 0	Faible: +9

Base de calcul: norme en fonction de l'objectif de rendement
 La base de calcul correspond à une situation intermédiaire pour tous les critères.

Chaque point d'indice équivaut à 1 kg N/ha à retrancher (-) ou à ajouter (+) à la norme.

Exemple de calcul: voir l'exemple de calcul de la fumure azotée du pommier et du poirier sous tableau 13.

5.1.2 Phosphate, potassium et magnésium

A l'inverse de l'azote pour lequel les corrections s'expriment en valeurs absolues (kg) d'éléments nutritifs, les normes du phosphore, potassium et magnésium sont corrigées en pourcent (tab. 18). La fumure phosphatée, potassique et magnésienne n'est pas déterminée en fonction de l'observation du végétal comme pour la fumure azotée, sauf en cas de carence avérée (tab. 20).

Fruits à pépins et à noyau

La norme de la fumure phosphatée, potassique et magnésienne se base essentiellement sur les prélèvements estimés de la culture au niveau de rendement correspondant (tab. 12), corrigé par l'appréciation de la vigueur basé sur le matériel végétal, l'analyse du sol et l'état de fertilité du sol (tab. 18) défini par l'analyse de terre (tab. 6).

Baies d'arbustes et kiwis

Pour les baies d'arbustes et le kiwi, les normes ne sont pas corrigées sur la base de la vigueur. Il est simplement conseillé de corriger la norme (tab. 12) en fonction du volume occupé par les cailloux et la teneur en matière organique (tab. 18).

Exemple de calcul

Un verger de Golden Delicious/M9 vt en 8^e année avec un potentiel de rendement de 5 kg/m². Le sol est moyen avec un taux de matière organique de 3,6% (élevé, voir tab. 6). L'état de fertilité est satisfaisant pour le P₂O₅, riche pour le K₂O et médiocre pour le Mg. L'enracinement principal se localise à plus de 80 cm et le volume occupé par les cailloux est faible (< 10%). L'exemple de calcul de la fumure minérale P₂O₅, K₂O et Mg pour ce cas pratique est décrit dans le tableau 27.

Tab. 18: Facteurs de corrections influençant la fumure P₂O₅, K₂O et Mg des fruits à pépins et à noyaux, des baies d'arbustes et du kiwi.

	Profondeur utile du sol		
	> 80 cm	40–80 cm	< 40 cm
Fruits à pépins et à noyau			
1. Porte-greffe Moyen à vigoureux Semi-nanasant à nanasant	-10%	0%	+10%
	0%	0%	+20%
Fruits à pépins et à noyau, baies d'arbustes et kiwi			
2. Volume occupé par les cailloux	Faible (< 10%): -10%	Moyen (10–30%): 0	Elevé à très élevé (> 30%): +10%
3. Teneur en MO (cf. tab. 6)	Elevé: -10%	Satisfaisant: 0	Faible: +10%

5.1.3 Bore

Le tableau 19 permet de déterminer la fumure en bore en fonction de l'état de fertilité du sol. Dans les sols à risques et en cas d'état de fertilité médiocre, il convient d'envisager un contrôle périodique des teneurs en bore.

Tab. 19: Fumure annuelle en bore en fonction de l'état de fertilité du sol.

Classe d'approvisionnement	ppm bore ¹	Fumure annuelle en kg/ha
Pauvre	< 0,6	3
Satisfaisant	0,6–1,50	2
Riche	1,51–2,0	1
Très riche	> 2,0	0

¹ extraction à l'eau chaude

5.1.4 Autres éléments

Une fumure annuelle avec d'autres éléments n'est en général pas nécessaire dans les vergers, sauf dans des cas très particuliers. Il s'agit surtout du fer, du manganèse et du zinc, éléments que l'on applique par voie foliaire en cas de nécessité (voir chap. 4.3 et 5.2.5). En cas de soupçon de carence d'un oligoélément, l'analyse du sol doit être complétée d'une analyse foliaire. L'interprétation des résultats de l'analyse foliaire nécessite le concours de spécialistes.

Dans le cas du fer, les corrections proposées au chapitre 4.2.4.5 peuvent apporter une aide à long terme. L'utilisation de complexes chélatés de fer en fumure foliaire ou au pal injecteur est à considérer comme une mesure d'urgence car le fer n'est pas transporté des vieilles feuilles vers les jeunes.

Fruits à noyau

Les connaissances actuelles ne nous permettent pas de dire si les nouveaux porte-greffe inducteurs de faible croissance sont particulièrement aptes à assimiler le fer, le manganèse et le bore sur sol alcalin. Les études correspondantes manquent encore.

5.2. Technique et époque de la fertilisation

5.2.1 Épandage sur la ligne d'arbres ou épandage sur toute la surface

Les fertilisants sont apportés soit au semoir sur toute la surface exploitée, soit sur la ligne d'arbres à la main ou à l'aide d'un semoir muni d'un dispositif de localisation de la fumure.

La localisation de la fumure sur une ligne d'arbres est principalement indiquée dans le cas de culture sur porte-greffe faible et dans des conditions où l'enracinement a toutes les chances de rester limité à une faible portion du volume de sol à disposition. Dans ces cas le contrôle de l'état de fertilité du sol implique le prélèvement des échantillons sur la bande fertilisée.

Une fumure sur toute la surface occasionnelle a également un sens dans les cultures fruitières à faible croissance en vue de promouvoir la croissance d'une couverture herbeuse résistante au passage des machines.

Les normes sont calculées en fonction de la surface totale du verger. La ligne d'arbres représente environ le tiers de la surface totale du verger (voir fig. 16). L'application de la norme de fumure uniquement sur la ligne d'arbres y triple donc l'apport local (par unité de surface de la ligne d'arbres) alors que l'apport total par unité de surface de la culture correspond à la norme. Par exemple, si la norme corrigée corres-

pond à 65 kg N/ha, la quantité épandue sur la ligne d'arbres ($\frac{1}{3}$ de la surface totale du verger) sera de 195 kg N par hectare de ligne d'arbres, pour un apport recommandé de 65 kg N par hectare de verger. Des essais effectués en Valais ont montré qu'en application localisée, il ne faut pas dépasser de plus de deux fois la dose prévue (normes) pour la surface totale du verger. Dans le cas contraire on observe des dégâts aux arbres et une baisse de la qualité du fruit (voir chap. 7) ainsi que des pertes importantes d'éléments nutritifs, la plante n'étant pas à même d'en assimiler de telles quantités (chap. 3).

Donc, en cas de localisation de la fumure sur la ligne d'arbres, la fumure N par unité de surface locale, ne doit pas dépasser le double de la norme corrigée. Par contre, la totalité de la norme recommandée pour P_2O_5 , K_2O et Mg peut être appliquée sur la bande.

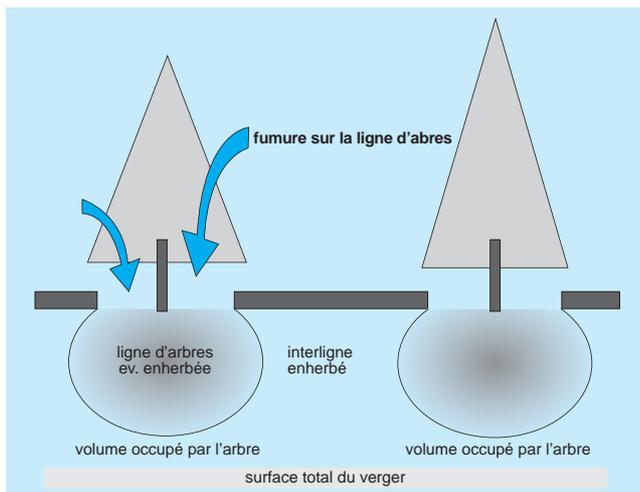


Fig. 16: Coupe transversale schématique d'une culture fruitière avec ligne d'arbres et interligne.

5.2.2 Fractionner l'apport d'éléments très mobiles

En règle générale, le besoin global de la plante en éléments nutritifs (norme) ne pourra pas être couvert en un seul apport (voir chap. 2.4). Une fumure adaptée aux besoins de la plante impose, pour l'azote, 2 à 3 apports durant la période de végétation. Habituellement, l'engrais est épandu localement sur la ligne d'arbres, de telle sorte que les nutriments se trouvent directement à disposition des racines. A cet endroit, il convient, lors du calcul de chaque fraction de l'apport, de tenir compte des éléments apportés par les diverses techniques culturales comme le mulching et le travail superficiel du sol.

Les apports d'azote (hautement mobile) sur pommier seront répartis avant et après la floraison. Dans les cultures de fruits à noyau les apports nutritifs doivent également être fractionnés entre mars (peu avant la floraison) et mai, voire début juin. Des apports d'azote tardifs (dès juillet) sont déconseillés car la descente de la sève et l'aouètement sont retardés, ce qui diminue la résistance au gel.

5.2.3 Epoque et fréquence des apports d'azote

L'époque d'application peut jouer un rôle déterminant dans l'efficacité des apports d'azote.

Dans le cas de faibles quantités (jusqu'à 30 à max. 40 kg/ha), l'application se fera au premier printemps (début à mi-mars/avril selon le départ de la végétation). Dans le cas d'apports plus importants il faudra les fractionner, le deuxième apport pourra être effectué en début de floraison, voire après la période de lutte contre le gel dans les sites à risque.

Des apports en épandage traditionnel très tardifs (après fin mai début juin) sont à proscrire en raison du risque de prolongation de la végétation en arrière automne.

Un approvisionnement optimal en azote n'est pas qu'une question de quantité épandue mais plutôt de mise à disposition en temps voulu de suffisamment d'azote assimilable. De ce fait, la fumure azotée doit se faire en temps opportun et en conjonction avec, d'une part, les mesures destinées à réguler les adventices et, d'autre part, la technique de mulching. Une désactivation opportune de la concurrence des mauvaises herbes peut, dans certains cas par exemple, couvrir partiellement les besoins du moment de l'arbre en azote.

La fumure tardive, d'automne ou post-récolte, effectuée en vue de stocker des réserves (p. ex. l'arginine et l'asparagine) dans le bois ne peut pas être systématiquement recommandée. Une fumure post-récolte ne peut apporter ces effets positifs que les années lors desquelles le système foliaire demeure sain après la récolte et apte à l'assimilation pendant une durée prolongée. Ici aussi, cette mesure n'aura vraiment de sens que si l'on craint des difficultés d'approvisionnement pour l'année suivante (p. ex. danger d'alternance).

5.2.4 Application et époque de la fumure en phosphore, potassium et magnésium

L'épandage d'engrais phosphatés ou potassiques peut se faire sous forme d'engrais simples ou composés en automne ou au printemps. Il convient d'exclure les applications sur sol gelé, enneigé ou détrempé. Des apports limités au printemps (voire un fractionnement des apports) ne sont indiqués que dans le cas de sols extrêmement légers et pauvres en matière organique (principalement en raison des risques de lessivage du potassium). Les apports de fumure magnésienne se feront impérativement au printemps vu la mobilité de cet élément dans le sol.

Si les doses recommandées en fumure phosphatée et potassique sont faibles et dans la mesure où le sol a une capacité suffisante, il est possible de prévoir une application tous les deux ans en doublant l'apport (annuel) recommandé.

Dans le cas d'apport localisé (sur la ligne d'arbres), les quantités de fumure phosphatée, potassique et magnésienne recommandées dans cette publication ne seront pas modifiées (elles correspondent aux prélèvements effectifs de la culture).

5.2.5 Fumure foliaire

L'approvisionnement des arbres fruitiers en éléments nutritifs a lieu principalement par les racines. La fumure foliaire doit, dans tous les cas, se limiter aux cas où la fumure par le sol n'apporte pas les effets escomptés. Ceci n'est que rarement le cas et sert à éviter les symptômes de carences en macro ou micro-éléments.

Une fumure foliaire appropriée peut se révéler très efficace par le peu de pertes qu'elle engendre et par les résultats obtenus. Les apports nutritionnels ne sont pas négligeables, ils représentent dans le cas de l'azote, par exemple, près de 5 kg N par ha à chaque application. La fumure foliaire peut apporter à l'arbre des quantités appréciables d'azote avec la plus haute efficacité. De ce fait, elle doit être prise en compte lors de l'établissement du plan de fumure d'une culture fruitière, c'est-à-dire dans le calcul des besoins en éléments nutritifs du verger (norme) et dans le bilan global de l'exploitation.

La fumure foliaire doit être un éventuel élément constitutif des soins au verger réservé aux arboriculteurs professionnels. Dans ces exploitations l'apport nutritionnel global est, en général, fractionné en plusieurs apports de sorte que la mise à disposition des éléments nutritifs corresponde aux besoins, tout en minimisant les pertes. Par le fractionnement de la fumure au sol et la possibilité d'utiliser la fumure foliaire, les apports en éléments nutritifs peuvent être adaptés de manière plus flexible au degré du développement momentané de la culture.

Les situations et les causes de carences aiguës, de même que les conditions dans lesquelles la fumure foliaire peut être appliquée sont décrites au chapitre 4.1.3. Ces causes peuvent également induire des états de faiblesse qui ne seront pas immédiatement perçus par l'œil comme des carences (p. ex. lors de dégâts au système racinaire causés par une infestation aiguë d'insectes, un blocage de l'assimilation d'éléments par les racines dû aux conditions météorologiques). Dans ce cas, une fumure foliaire préventive peut se justifier.

En général, les engrais destinés à la fumure foliaire ne doivent pas être mélangés aux produits phytosanitaires. Les appareils d'application doivent être soigneusement nettoyés avant la préparation de la bouillie.

Les engrais foliaires complets ne doivent être utilisés qu'exceptionnellement jusqu'en juin au plus tard.

Les indications spécifiques à l'agriculture biologique sont présentées au chapitre 10.

Tab. 20: Corrections des carences: causes et mesures à envisager.

Elément				Mesures de corrections	
Symbol	Nom	Symptômes	Causes	Apports au sol	Pulvérisations foliaires
N	Azote	Feuilles claires, Fruits trop petits	Carence en azote en cas de forte charge alternance gel faible teneur en matière organique irrigation excessive sécheresse sol tassé, compacté sol hydromorphe fixation de l'azote par le mulch avec rapport C/N élevé	Voir fumure azotée (chap. 5.1.1)	Les applications doivent se faire à la fraîcheur, de préférence par temps couvert. Le produit pénètre mieux lorsque le végétal est humide (rosée). L'industrie développe des produits contenant des adjuvants améliorant l'adhésion et la pénétrabilité des sels. Pour les formulations du commerce et pour les mélanges avec d'autres matières actives se référer aux directives du fabricant. 2-4 traitements à intervalles de 1-2 semaines jusqu'au plus tard début juin; premier traitement une semaine après la défloraison. Quantité par apport: 8 kg d'urée par 1000 litres de bouillie par ha pour Golden Delicious; 5 kg d'urée/1000 l combiné avec d'autres substances de traitement: 3-5 kg d'urée/1000 l Les conditions climatiques du Valais ne permettent pas de dépasser 0,5% à cause du risque de brûlures.
Ca	Calcium	Apparition marquée de troubles physiologiques	Fumure déséquilibrée particulièrement apports trop élevés en N et K Variété et porte-greffe inadaptés Charge en fruits déséquilibrée (alternance)	Voir aussi chaux (chap. 4.2.4.4)	Choix de cultures et de variété moins sensibles avec potentiel fruitier moyen à élevé: traitement 5 et 3 semaines avant récolte. Sur installations et variétés sensibles ou en cas de faible charge: 4 à 6 apports chaque 10 à 14 jours; dernier traitement: 3 ^{ème} semaine avant récolte. Pulvériser au moins 1000 litres à l'hectare; bien couvrir les fruits Ne pas combiner avec des produits de traitements. Ne pas vaporiser par temps chaud, de préférence le soir. Quantité par apport: 10 litres de chlorure de calcium liquide ou 6 kg CaCl ₂ pur avec mouillant à 1/2 dose par 1000 litres et ha.
Mn	Manganèse	Feuille décolorée de manière diffuse entre les nervures. Dégradé à partir de la nervure. Peut atteindre la nécrose internervaire.	Sol riche en MO (plus de 6 à 8%) à pH neutre à alcalin. Chaulage, augmentation du pH.	D'une manière générale l'apport au sol est déconseillé car la dose doit être importante (de 20 à plus de 100 kg/ha) et en général son efficacité est aléatoire. L'ordre d'efficacité décroissant est en général le suivant: MnSO ₄ > MnO > MnCO ₃ > MnO ₂ > MnEDTA.	Il s'agit du meilleur moyen de lutte contre la carence. Des apports à raison de 0,1% soit 100 g pour 100 l dans 600 à 1000 l d'eau/ha permettent de corriger la plupart des déficiences. L'ordre d'efficacité décroissant est le suivant: MnEDTA > MnSO ₄ > MnEDDHA > MnDTPA. Pour le sulfate on conseille: 0,1%. Répéter l'apport 2, voire 3 fois, durant la végétation.
Zn	Zinc	Chlorose des jeunes feuilles. Feuilles de petites taille, appelées feuilles en rosettes. Aspect buissonneux des branches	Elévation du pH, chaulage et fumures phosphatées excessives.	Les apports de zinc au sol se limitent à l'emploi d'engrais complets spéciaux et les doses de zinc sont faibles. En général on utilise des sulfates ou des chélates. L'efficacité au sol d'un chélate EDTA est 2 à 3 fois supérieure à celle d'un sulfate. L'apport au sol ne dépasse pas 10 kg/hade zinc.	Une correction des symptômes de carence est possible par apport de sulfates ou de chélates par voie foliaire. L'ordre d'efficacité décroissant des produits est le suivant: ZnEDTA > ZnEDDHA > ZnSO ₄ > ZnDTPA. Les fongicides contenant du zinc sont également efficaces. Le sulfate de zinc s'utilise à raison de 0,1% sur frondaison ou à 1% après la récolte, juste avant la chute des feuilles en automne.

Fe	Fer	Chlorose des jeunes feuilles, le limbe devient pâle, puis jaune voir brun, seules les nervures restent vertes.	Sol calcaire à forte proportion de calcaire actif. Période humide, sol gorgé d'eau. Apport de matière organique non décomposée.	Les apports au sol sont en général inefficaces. L'adaptation de la culture, de la fumure, ainsi que des mesures d'assainissement physiques (drainage) sont en général préférables. Les formes chélatées ont une efficacité supérieure aux sels minéraux. FeEDDHA et FeDTPA sont à réserver aux sols calcaires alors que FeEDTA convient plutôt aux sols acides. Pour les doses il faut se référer aux directives des fabricants.	Bien que temporairement et superficiellement efficace, les apports foliaires sont fréquents. On peut utiliser des chélates seuls ou des sels minéraux auxquels on ajoute de l'urée ou un surfactant (ex. acide citrique). L'ordre d'efficacité décroissant est en général le suivant: FeEDTA > FeDTPA > FeEDDHA > FeSO ₄ . Pour le chélate de fer EDTA la dose est de 0,15%, pour le sulfate de fer elle est de 0,4% et on y ajoute 0,08% d'acide citrique.
Mg	Magnésium	Chlorose internervaire qui évolue sous forme de nécroses. La chlorose affecte d'abord les feuilles âgées. Les zones affectées sont nettement délimitées. Une défoliation de la base des rameaux est souvent observée dès le mois de juillet.	Sol calcaire, sol léger et sol drainant. Un déséquilibre de la fertilisation entre K et Mg est la cause la plus fréquente de carence. Une fumure azotée à base d'azote ammoniacal peut également engendrer une carence.	Les apports au sol sont réalisés en fonction des besoins des cultures et des résultats des analyses de terre. Les sels contenant du magnésium et les engrais organiques permettent de couvrir les besoins des plantes et de corriger les carences. Le sulfate de magnésium hydraté (MgSO ₄ 7H ₂ O) et le sulfate de magnésium calciné (MgSO ₄ H ₂ O) conviennent dans toutes les circonstances. Les carbonates et les oxydes de magnésium sont réservés aux sols acides.	Les apports par pulvérisation foliaire sont courants et efficaces. On utilise de préférence le sulfate de magnésium hydraté (MgSO ₄ 7H ₂ O) à raison de 2% sur la plupart des cultures. Il y a lieu de diminuer la dose de moitié lorsque l'apport n'est pas spécifique, par exemple lorsqu'il y a mélange avec d'autres matières actives. Il existe également des produits préparés par l'industrie; en général ils sont formulés à partir de sels de nitrate ou de sulfate ou de chlorure de magnésium.
B	Bore	Feuilles terminales généralement en rosettes et gaufrées. Pousses avortées, mort des tissus méristématiques et du bourgeon terminal. Ecorce rugueuse (peau de crapaud). Fruits déformés présentant des plages liégeuses internes.	Sol calcaire, sol léger drainant. Chaulage du sol. élévation du pH.	Les apports au sol sont efficaces. La seule difficulté est la nécessité de respecter la dose qui est faible. Pour résoudre ce problème deux solutions sont possibles: utiliser des engrais complets boratés ou appliquer le sel de bore par pulvérisation au sol. Dans ce dernier cas, il est souvent possible d'effectuer cet apport dans le même traitement que l'application d'herbicide. Attention, des synergismes d'efficacité ont été observés. Plusieurs produits sont utilisables sans distinction d'efficacité: acide borique, borax, borates de sodium solubor et colématite. Les doses sont de 2 à 4 kg/ha.	Les apports foliaires de bore sont courants et efficaces. C'est une méthode commode, car elle peut se pratiquer avec la plupart des traitements antiparasitaires. Avant de procéder à cette technique il faut se renseigner sur la compatibilité des produits auprès des firmes car certaines combinaisons peuvent augmenter leur agressivité pour le végétal. Pour les apports foliaires, Solubor et l'acide borique sont les produits les plus utilisés. Les doses vont en général de 0,1 à 0,25%, la dose la plus faible est conseillée au stade F2. Les applications précoces sont plus efficaces que les applications tardives. En général, il y a lieu de répéter l'application 2 ou 3 fois en cours de végétation.

Les indications spécifiques à l'agriculture biologique sont présentées au chapitre 10.

Attention: ne concentrez pas la bouillie, comme cela peut être fait par exemple avec des fongicides.

Vous trouverez des indications plus précises dans les feuilles informatives de l'AMTRA (Heller et Ryser 1997a, b, c).

Sources: Belger et al. (sans date), Jacob 1961, Loué 1993, Pontailly 1972, Ryser 1991.

5.2.6 Engrais liquides, fertigation

Cette technique est susceptible de présenter un intérêt essentiellement pour des cultures très intensives sur porte-greffe faible (M27, éventuellement M9). Son intérêt est principalement lié à l'existence ou à la nécessité d'un système d'irrigation localisée sur la parcelle. L'apport peut se faire pour l'ensemble des éléments au moyen d'engrais simples ou composés entièrement solubles. La notion de fertigation comprend l'apport d'engrais par le système d'irrigation goutte-à-goutte. L'apport d'éléments minéraux par irrigation fertilisante n'est pas autorisé en arboriculture biologique. L'avantage principal de l'irrigation fertilisante consiste essentiellement dans la possibilité de fractionnement des éléments facilement lessivables, c'est-à-dire principalement l'azote et dans une certaine mesure le magnésium. L'avantage de l'apport d'azote en irrigation fertilisante peut être très variable selon les conditions de sol et de climat (fourniture naturelle du sol en azote, risques de lessivages, etc.).

Des systèmes de goutte-à-goutte ou de micro-aspiration localisée (irrigation sur la ligne d'arbres) peuvent être envisagés. Les systèmes de micro-jets semblent préférables (fertilisation d'un volume de sol plus important).

Sous nos conditions de climat, les apports doivent pouvoir être dissociés de l'irrigation (nécessité d'apports en périodes parfois suffisamment arrosées). La fertilisation s'effectuera donc sous des formes relativement concentrées ne nécessitant qu'un faible apport d'eau. La séquence de fertilisation doit toujours être suivie d'un rinçage des conduites à l'eau afin d'éviter la cristallisation au niveau des diffuseurs.

Les meilleurs résultats pour l'efficacité des apports d'azote par irrigation fertilisante sont obtenus pour une période s'étendant de la mi-avril au début de juillet. Pour le magnésium, la période favorable se situe du début juin à la mi-juillet. La fréquence de fertilisation ne devrait pas descendre au-dessous d'une à deux applications hebdomadaires.

Les quantités d'azote sont déterminées selon l'état végétatif de la culture. On ne dépassera pas en général des apports de 25–30 kg N/ha/an, soit l'équivalent de 10–15 g N/arbre/an pour une densité de plantation de 2500 arbres/ha.

Le système de «douche» par une solution azotée semble s'imposer dans la pratique, en parallèle à l'irrigation fertilisante: la solution fertilisante est appliquée par les rampes de traitement ou des diffuseurs (fig. 17). L'azote est par exemple dissous dans l'eau sous forme de nitrate de calcium et appliqué par le pulvérisateur à rampe. Un essai comparatif entre l'irrigation fertilisante, cette dernière méthode d'application par douche et une application sèche standard sur la ligne d'arbres s'est déroulé à Güttingen (argile sablonneuse, légèrement humifère; précipitations annuelles moyennes 940 mm [760–1200 mm]) avec les résultats suivants (Widmer et Krebs 1999): la première année, les arbres ayant subi la fertilisation par irrigation et par douche ont eu une plus forte croissance et une production fruitière plus faible. La reconstitution du système racinaire, suite à des dégâts de larves de hanneton, a été meilleure. Dans ces conditions de site et sur une durée de six ans, l'irrigation fertilisante n'a pas montré d'avantages majeurs, concernant le développement de l'arbre, le rendement et la qualité des fruits, par rap-

port aux systèmes d'épandage traditionnel sur la ligne et le système de pulvérisation par diffuseur. Le diffuseur permet d'apporter l'azote dans la région des racines. L'effet positif d'une fertilisation par irrigation se limite aux années sèches. Dans tous les cas, il est reconnu que l'irrigation fertilisante a des effets positifs sur la croissance de l'arbre et sur le rendement sur sol léger sablonneux ou en région sèche, principalement par l'apport régulier d'eau.

Fig. 17: Fumure liquide par diffuseur sur la ligne d'arbres (foto Chr. Krebs 1999).



5.2.7 Fumure des jeunes plantations

Les besoins des arbres fruitiers sont proportionnels au développement de la couronne qui détermine le potentiel de rendement. Le système de correction complémentaire tenant compte du niveau de rendement permet de nuancer le plan de fumure en conséquence pour un verger en phase de croissance.

La fumure azotée des jeunes vergers doit être adaptée au développement végétatif pendant la phase de croissance de l'arbre. Les jeunes cultures arboricoles ont, jusqu'à la phase de pleine production, un besoin en nutriments considérable, afin de constituer leur propre biomasse (dès la première année de plantation les besoins croissent rapidement afin de satisfaire à la croissance du tronc et la pousse de l'arbre pour développer sa couronne). Le système racinaire de ces cultures est peu développé, raison pour laquelle on recommande d'apporter les éléments nutritifs sur la ligne d'arbres.

Le choc de la plantation, particulièrement sur cultures modernes de cerisier sur porte-greffe faible, peut être atténué par un apport opportun d'azote qui soit suffisant et adapté à la culture. Les jeunes vergers de fruits à noyau, qui connaissent une croissance plus forte que le pommier, un rapport MS (feuille)/MS (fruit) plus élevé et doivent également former une part ligneuse proportionnellement plus importante, doivent être suffisamment (mais sans excès) fertilisés avec de l'azote. Il ne faut pas oublier que, pour des arbres en croissance, des apports trop élevés ne peuvent pas être assimilés par le système racinaire en développement.

Suite à la phase végétative de jeunesse, on recherchera un bon équilibre végétation/production. L'épandage se fait généralement de manière localisée.

Pour les baies d'arbustes, on s'orientera principalement en fonction de la vigueur de la pousse annuelle.

Démarche de détermination de la norme pour les jeunes plantations

Pour le verger en croissance, il s'agit de déterminer le rendement visé pour le verger en phase de pleine production, celui-ci permettra de calculer la norme (selon tab. 15 y compris les corrections selon les tab. 13 et 14). Durant la phase de croissance, les apports peuvent être progressivement augmentés, d'année en année. La durée de la phase de croissance est fonction du site et du rendement visé, elle dure au maximum de 2 à 5 ans pour des cultures fruitières modernes.

5.2.8 Apport par enfouissement

Il est principalement indiqué pour des cas très particuliers, par exemple en présence d'un sous-sol très pauvre en phosphore ou en potasse, lorsque la correction n'a pas été effectuée par une fumure de fond lors de la création de la culture. Ces techniques ne devraient, par contre, pas être envisagées pour la fumure minérale d'entretien en dehors de ces cas précis: mauvaise répartition de la fumure et impossibilité de contrôler l'évolution de l'état de fertilité du sol.

L'application s'effectue sous forme solide ou liquide. Dans le premier cas, on utilise un couteau creux qui permet de localiser les engrais au niveau des racines. Vu qu'un certain nombre de racines sont coupées, il est indispensable d'organiser les passages de telle manière que ce travail ne porte pas préjudice à la culture. L'autre technique consiste à effectuer une fumure liquide, localisée au pal injecteur. Le mélange d'engrais est dissous dans de l'eau en solution à 10% (environ 100 g/l) et injecté dans le sol à l'aplomb de la couronne, à raison de 1 l de solution par m². L'arboriculteur peut acheter des engrais prévus à cet effet ou préparer lui-même des solutions en prenant soin de n'utiliser que des engrais cristallisés à 100%, solubles à l'eau.

5.2.9 Fumure de création ou de reconstitution

La fumure de création n'est recommandée qu'exceptionnellement. En général, la fumure sera planifiée sur la base des analyses de sol de routine (éventuellement du sous-sol, voir chap. 4.2.1). Un amendement nutritionnel ne s'appliquera que sur de nouvelles plantations et lorsque l'analyse du sol décèle d'importants déficits, c'est-à-dire des déséquilibres dans l'approvisionnement du sol en éléments nutritifs. Les indications suivantes sont à la base des mesures à prendre et elles doivent dans tous les cas être discutées avec un spécialiste.

La préparation du terrain lors de la création ou de la reconstitution d'un verger offre une excellente occasion pour apporter en profondeur des éléments minéraux. Elle permet aussi d'amender le sol avec des composants ayant une action favorable sur la structure physique (complexe argilo-humique) et biologique (chap. 4.2.4.2).

Les principaux éléments à apporter sont le phosphore, le potassium et le magnésium. Les sols de nos vergers sont généralement bien pourvus en calcium, mis à part certaines régions de Suisse romande et les situations franchement acides; dans ce cas un amendement calcique s'impose.

Un apport de calcium peut être recommandé via une fumure P ou K. En fumure de création, les apports d'azote et de bore sont déconseillés en raison de leur mobilité dans le sol (tab. 21).

Les doses à épandre en fumure minérale sont fonction de l'état de fertilité du sol.

Les conditions d'application sont dictées par trois exigences:

- bien incorporer les éléments dans les horizons d'enracinement prévisible, minimum 50 cm, par un labour profond, bêchage, minage et même, dans certains cas, un défonçage. La qualité (structure) et la profondeur du sous-sol qui nous sont données lors de l'appréciation d'une coupe de profil indiquent la formule à choisir;
- éviter les risques de phytotoxicité sur racines par des apports trop tardifs, moins de 4 à 5 semaines avant la plantation, surtout lors d'utilisation de chlorures;
- éviter toute nuisance à l'environnement (pertes par lessivage et érosion). Il convient d'enfouir les engrais sitôt après leur épandage. A cet égard, le bêchage est le meilleur travail, particulièrement sur le terrain en pente, car il évite le ruissellement des eaux de surface.

Remarque: Dans le cadre d'une plantation où seule la ligne d'arbres est concernée, il est conseillé de n'apporter la fumure de création que sur la bande travaillée et en quantité proportionnelle.

Exemple: Plantation à 4 m d'interligne et travail du sol sur 1,8 m de large (1,8 : 4) = 45% de la quantité prévue à l'hectare.

Tab. 21: Fumure de création (exceptionnellement).

Etat de fertilité	Unités à apporter		
	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
Pauvre	80	300	40
Médiocre	60	150	30
Satisfaisant	20	75	10

5.3 Engrais du commerce, minéraux et organiques

5.3.1 Liste des engrais du commerce

Tab. 22: Teneurs en fertilisants de quelques engrais du commerce.

Engrais	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	Ca	Remarques
Engrais azotés minéraux						
Nitrate d'ammoniaque	27,5					rapidement disponible
Nitrate d'ammoniaque	33,5					risques d'incendie et d'explosion
Nitrate d'ammoniaque boriqué	27					pH neutre, 0,5% de bore
Nitrate d'ammoniaque magnésien	23,5			3		pH neutre
Nitrate d'ammoniaque calcium	26				15	élève le pH
Urée	46					N amidique
Sulfate d'ammoniaque	21					acidifie, 24% de soufre
Cyanamide calcique	20				35-42	minéralisation lente de l'N, action désinfectante, respecter les délais d'attente
Engrais azotés organiques						
Farine de sang	12					85% de matière organique
Poudre de corne	13	4				80% de matière organique
Rognure de corne	13					85% de matière organique
Vinasse	9,5					engrais organique liquide
Tourteau de ricin	6	2	1			
Engrais phosphatés						
Poudre d'os dégraissé	6	15			17	45% de matière organique
Poudre d'os dégelatiné	1	31			30	15% de matière organique
Superphosphate		18			20	
Supertriple		45			14	
Phosphate naturel tendre		33			39	
Engrais potassiques						
Potasse 60			60			
Potasse 40			40			
Korn-Kali			40	4,8		granulé
Sulfate de potasse			50			exempt de chlore, 18% de soufre
Potasse magnésienne			28	6		Exempt de chlore, 18% de soufre
Nitrate de potasse	13		46			action rapide, apport en fumure foliaire
Engrais magnésiens						
Kiesérite				16		20% de soufre
Bittersalz, sel d'Epson (sulfate de magnésium hydraté)				10		13% de soufre (sel d'Epson), apport en fumure foliaire
Engrais contenant du calcium						
Chlorure de calcium					15	apport par pulvérisation
Nitrate de calcium	16				20	apport par «douche» sur la ligne d'arbres
Amendements calcaires						
Chaux vive					50	attention corrosive, effet désinfectant, action rapide
Dolomie				12,5	22	élève le pH, effet à long terme
Calcaire, chaux					40	élève le pH, effet à long terme
Chaux d'algue marine				2,8	30	élève le pH, effet à long terme
Ricokalk, chaux d'Aarberg	0,3	1		0,5	24	10% de matière organique, élève le pH
Borax						14,5% de bore
Solubor						20,5% de bore
Magran				16		
Manganin						28,5% de manganèse

L'unité de référence pour le calcul des apports en chaux est la teneur (%) de l'engrais en oxyde de calcium (CaO);
 $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} \times 1,785$; $\text{CaO} = \text{Ca} \times 1,399$; $\text{Ca} = \text{CaO} \times 0,715$; $\text{CaCO}_3 = \text{Ca} \times 2,497$; $\text{CaO} = \text{CaCO}_3 \times 0,561$; $\text{Ca} = \text{CaCO}_3 \times 0,400$

Autorisé en culture biologique

Source: Walther et al. 2001; VSGP et al. 2002, Liste des auxiliaires Inst. de recherche pour l'agricult. biol. (IRAB).

5.3.2 Choix du type d'engrais minéral

5.3.2.1 Azote (N)

L'azote peut être apporté sous forme nitrique, ammoniacale ou ammoniaco-nitrique. Dans les terres froides, l'utilisation d'azote nitrique est justifiée. La forme ammoniacale convient bien aux sols légers.

5.3.2.2 Phosphore (P)

La forme qui convient le mieux dépend de la richesse du sol en phosphore et de son pH. Les phosphates (P_2O_5) solubles sont généralement réservés aux sols alcalins et les formes moins solubles (PA et PC) aux sols acides. Dans les sols riches en P on peut choisir des formes de phosphates moins solubles. Par contre, dans les sols pauvres en P, il faut apporter des formes solubles à l'eau plus rapidement disponibles pour la plante.

5.3.2.3 Potassium, soufre, chlore (K, S, Cl)

Les engrais du commerce contiennent des chlorures, sauf mention particulière.

Chlorures et sulfates sont d'efficacité égale. La forme «sulfate», plus onéreuse, ne se justifie que pour des apports très importants de potassium en fumure de fond ou en fumure annuelle de printemps, ainsi que pour la fumure annuelle d'essences sensibles aux chlorures (tab. 23).

Tab. 23: Sensibilité des cultures fruitières au chlore.

Sensibilité au chlore	Cultures
Faible	Poirier, cassissier
Moyenne	Pommier, prunier, pêcher, abricotier
Forte	Cerisier, ronces, groseillier à grappes
Très forte	Framboisier, groseillier à maquereau, myrtillier, pépinière et jeunes plantations

5.3.2.4 Magnésium (Mg)

Le magnésium est présenté sous deux formes : les sulfates ou les carbonates. Dans les sols calcaires, il est indispensable de l'appliquer sous une forme facilement soluble, c'est-à-dire sous forme de «sulfate».

5.3.2.5 Chaux et bore (B)

Si l'amendement calcaire est fait avec de la chaux éteinte ou de la dolomie fine, un apport de bore à raison de 1 à 3 kg/ha est conseillé afin de compenser le blocage éventuel de cet élément. Si on utilise de la dolomie grossière, l'apport de bore n'est plus indispensable. Les amendements ne doivent pas se trouver en contact avec le fumier, les engrais ammoniacaux ou le superphosphate parce qu'ils peuvent provoquer une forte activation de la vie microbienne, des pertes gazeuses d'ammoniac ou un blocage des phosphates.

Le bore peut être apporté sous forme de borax (12–15 kg/an, voir le tab. 22). L'épandage doit se faire régulièrement sur toute la surface du sol et non pas concentré sur la plante. Si l'apport prévu est faible, il est recommandé d'utiliser un engrais composé contenant du bore. Pour éviter les excès et les mauvaises répartitions, une technique d'application simple consiste à ajouter le bore soluble (borax, acide borique, solubor) à la bouillie herbicide de printemps. Le fumier contient également du bore (4 g/t).

Tab. 24: Propriétés de divers amendements calcaires (Walther et al. 2001).

Nom du commerce	Part en chaux		Teneurs significatives en autres éléments	Effet
	Formule chimique	Valeur de référence en % CaO		
Amendement calcaire, calcaire moulu, chaux (carbonate de calcium)	$CaCO_3$	50	–	Lent
Chaux d'algues marines	$CaCO_3$	50	2–3% Mg	Lent
Dolomie (chaux magnésienne)	$CaCO_3/MgCO_3$	50	12% Mg	Lent
Chaux éteinte	$Ca(OH)_2$	55		Rapide
Chaux vive	CaO	75		Rapide
Ricokalk	$CaCO_3$	32	30% d'eau 1,1% P_2O_5 0,7% Mg 0,3% N	Moyen

La teneur en $CaCO_3$ apposée sur les sacs d'engrais indique la chaux efficace, la teneur en Ca n'en indique pas l'efficacité.

Tab. 25: Apport en calcium de quelques engrais.

Engrais	Teneur en fertilisants	Teneur en Ca	Valeur neutralisante Rapidité d'action
Nitrate de chaux	15,5% N	15,0%	Moyenne à lente
Superphosphate	18,0% P_2O_5	19,0%	Neutre
Supertriple	46,0% P_2O_5	12,0%	Neutre
Hyperphosphate	26,0% P_2O_5	39,0%	Moyenne à lente
Poudre d'os	30,0% P_2O_5	32,0%	Moyenne
Phosphate naturel tendre	28,0% P_2O_5	48,0%	Lente à
Chaux d'Aarberg	1,1% P_2O_5 0,7 Mg 0,3% N	23%	moyenne

5.4 Engrais organiques

Tab. 26: Teneur en éléments nutritifs des engrais organiques (kg/t: engrais solides, kg/m³: engrais liquides).

Engrais	TS	N _{tot} ¹	N _{disp} ²	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	Ca	OS	kg/m ³
Lisier complet (bovin)	120	5,0	2,2-3,0	2	7	0,7	2,6	98	1000
Purin non dilué	70	6,9	3,2-4,2	0,4	14,7	0,4	0,6	40	1000
Fumier en tas ³	230	5,09	1,0-2,0	3,0	6,0	1,2	5,0	150	800
Fumier de stabulation (bovin d'engrais)	230	6,54	1,3-2,5	2,8	9,5	0,9	3,3	155	950
Fumier de stabulation (porc)	250	7,5	3,1-4,7	5,5	4,63	1,3	3,6	40	/
Fumier de volaille (garde au sol)	760	26,0	8-12	28,0	16,0	4,0	38,0	300	950
Fumier de cheval (mur)	250	6,5	0,7-1,8	3,0	6,3	1,0	2,9	240	800
Paille de céréale	860	7,5	0,0	2,2	14,0	0,7	2,2	800	100
Paille de colza (pressée) ⁴	860	7,5	0,0	3,5	15,4	1,5	1,4	800	/
Paille de pois	860	15,0	0,2	3,0	9,6	1,8	16,5	800	/
Litière d'aiguilles de sapin	650	7,5	/	1,5	3,0	0,8	3,5	630	/
Compost de marc	330	6,0	1,0	5,0	7,0	1,0	3,0	300	750
Compost vert mur ⁵	450	5,8	0-1,0	3,3	4,2	2,5	29,0	185	450
Cendres de bois	1000	0	0	30,0	80,0	0,5	230,0	/	/
Substrat de champignon	350	7	2-4	5	8	3	/	/	500

/ Pas de données.

¹ Les pertes inévitables lors du stockage des engrais de ferme (particulièrement par volatilisation de l'ammoniac) sont déduites.

² Azote disponible (voir glossaire).

³ Max. 20 t/ha chaque 3-4 ans.

⁴ Attention aux apports trop élevés en potassium de la paille de colza (antagonismes). 1 botte de paille de colza par 5 mètres suffit (5 t/ha chaque 2 ans = 75 kg K₂O/ha ou 37,5 kg K₂O/ha chaque an).

⁵ Recommandation: max. 25 t/ha.

MS: matière sèche; MO: matière organique.

$$P_2O_5 = P \times 2,294 \quad MgO = Mg \times 1,658$$

$$K_2O = K \times 1,205 \quad CaO = Ca \times 1,400$$

Source: Walther et al. 2001, VSGP et al. 2002, Heller et al. 1993.

6 Equilibre entre les besoins nutritifs et la fumure

L'apport d'éléments nutritifs doit correspondre aux prélèvements de la culture. Cet équilibre doit être recherché aussi bien au niveau de la parcelle (chap. 6.1) que de l'exploitation (chap. 6.2).

6.1 Plan de fumure par parcelle

Le plan de fumure (tab. 27) permet de calculer les besoins en éléments nutritifs de chaque parcelle et les apports fertilisants nécessaires.

Les besoins en azote de chaque culture sont déterminés par l'observation de la culture l'année précédente (tableaux du chap. 5.1.1), ceux des autres éléments nutritifs sont donnés par les normes de fumure, sur la base des résultats de l'analyse du sol et de l'utilisation des facteurs de correction (tableaux du chap. 4.2.4.3). La quantité d'élément nutritif obtenue pour la norme corrigée s'exprime en élément nutritif pur et doit être retranscrite en quantité d'engrais à épandre.

Tab. 27: Plan de fumure pour une culture de pommiers Golden Delicious avec un rendement de 50 t/ha, sur sol mi-lourd avec 3,6% de matière organique (exemple fictif, valeurs spécifiques à l'exemple en italique).

Voir tableau		Élément pur (kg) par hectare ¹					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	CaO ²	B
1. Norme de fumure en fonction du rendement							
12	Norme	70	25	90	15		2
2. Correction de la norme							
21. Azote		Élément pur (kg) par hectare					
13	Croissance <i>normale</i>	0					
	Aoûtement <i>tardif</i>	-5					
	Formation des bourgeons <i>normale</i>	0					
	Rendement de l'année précédente <i>normal</i>	0					
	<i>Porte-greffe à croissance moyenne; > 80 cm du volume du sol</i>	-5					
	Apparition de troubles physiologiques <i>non</i>	0					
	Part de cailloux <i>faible</i>	-5					
6	Matière organique <i>élevée</i>	0					
	Norme de fumure corrigée pour l'azote	55					
22. Phosphore		Facteur correctif					
7	Analyse du sol à l'extrait AAE10, <i>45 mg P</i>		1,2				
8	Analyse du sol à l'extrait d'eau, <i>13 mg P</i>		0,3				
		correction (%)					
Correction (éléments en réserve pondérés × 2; en % de la norme)			90				
18	Part de cailloux <i>faible; > 80 cm du volume du sol</i>		-10				
18	Matière organique <i>élevée</i>		-10				
Correction de la norme phosphore (en % de la norme)			70				
Norme de fumure corrigée pour le phosphore			17,5				
23. Potassium		Facteur correctif					
7	Analyse du sol à l'extrait AAE10, <i>370 mg K</i>			0,2			
8	Analyse du sol à l'extrait d'eau, <i>42 mg K</i>			0,8			
		correction (%)					
Correction (éléments en réserve pondérés × 2; en % de la norme)				40			
18	Part de cailloux <i>faible; > 80 cm du volume du sol</i>			-10			
18	Matière organique <i>élevée</i>			-10			
Correction de la norme potassium (en % de la norme)				20			
Norme de fumure corrigée pour le potassium				18			
24. Magnésium		Facteur correctif					
7	Analyse du sol à l'extrait AAE10, <i>40 mg Mg</i>				1,3		
8	Analyse du sol à l'extrait d'eau, <i>30 mg Mg</i>				0,7		
		correction (%)					
Correction (éléments en réserve pondérés × 2; en % de la norme)					110		
18	Part de cailloux <i>faible; > 80 cm du volume du sol</i>				-10		
18	Matière organique <i>élevée</i>				-10		
Correction de la norme magnésium (en % de la norme)					90		
Norme de fumure corrigée pour le magnésium					13,5		
25. Chaux							
7, 9	<i>Valeur pH: 6,9; extrait AAE10: 1500 mg Ca</i>					100	
26. Bore							
19	Pas d'analyse du sol						2
Norme de fumure corrigée pour toute la surface							
Norme azote corrigée pour un épandage sur la ligne d'arbres ³		55	17,5	18	13,5 ²	100	2
		38					
3. Calcul des apports nécessaires par ha et année							
22	200 kg nitrate d'ammoniac avec chaux et bore	55				40	1
	75 kg Superphosphate (ou chaque 2 an le double apport)		14			20	
	200 kg Bittersalz (sulfate de magnésium hydraté)				20		
	On renonce à apporter du potassium			0			
	Somme des éléments nutritifs apportés	55	14	0	20	60	1

En mulching intensif sur la ligne d'arbres, les éléments nutritifs y contenus doivent être déduits lors du calcul des apports d'engrais, afin d'éviter des effets négatifs sur la qualité des fruits.

¹ Surface du verger (≠ assise de l'arbre). La norme de fumure se rapporte à la surface totale de l'installation arboricole et est prise en compte dans le bilan nutritif de l'exploitation, elle comprend également les divers apports par fumure foliaire.

² Le Ca n'est pas pris sous forme élément pur mais de chaux (CaO).

³ Si les teneurs du sol en K sont élevées, (degrés de fertilité: réserve et très riche) au moins 20 kg Mg par ha.

⁴ Si la fumure (fractionnée en 2 à 3 apports par année) est apportée sur la ligne d'arbres (environ le tiers de la surface totale de l'installation) et que la quantité absolue d'éléments nutritifs est maintenue, la dose apportée par unité de surface serait multipliée par le facteur trois. Ceci peut avoir des effets négatifs sur la croissance de l'arbre. Il est recommandé, tout au plus, de doubler la dose par unité de surface. Pour les autres éléments aucune correction n'est appliquée.

6.2 Gestion globale des éléments nutritifs sur l'exploitation: Suisse-Bilanz

La somme des plans de fumure des parcelles d'une exploitation fournit l'aperçu global de la gestion des éléments nutritifs. La gestion globale des éléments nutritifs (Suisse-Bilanz) prend en considération les besoins de toutes les cultures de l'exploitation, la production de fertilisants par les animaux et les engrais minéraux complémentaires. La gestion globale des éléments nutritifs ne peut donc pas renseigner sur la quantité d'engrais à épandre sur telle ou telle parcelle, mais elle assure que les flux d'éléments nutritifs seront équilibrés.

La gestion globale des éléments nutritifs se calcule à l'aide d'un programme informatique (LBL, SRVA 2001); elle est obligatoire pour les prestations écologiques reconnues (PER).

Les normes (tab. 12) et si elles devaient être corrigées pour une culture fruitière sur la base du site (tab. 13 et 14), également les normes corrigées seront introduites dans la gestion globale des éléments nutritifs selon Suisse-Bilanz en tant que besoins.

6.3 Précision des calculs de fumure, sa limite

Dans la pratique, la fumure est loin d'être une science exacte et se base également sur des données empiriques. Il est donc important d'être conscient à chaque opération de ce phénomène de variabilité ou d'imprécision. Le tableau 28 se base sur des avis d'experts. Par exemple, la répétition d'un prélèvement d'échantillon de terre sur la même parcelle entraîne des écarts de résultats d'analyse de l'ordre de $\pm 30\%$ par rapport à la valeur «vraie». Au vu que les erreurs qui se font dans les deux sens s'annulent, les erreurs de fumure se limitent à $\pm 50\%$ et ne correspondent pas à la somme des erreurs cumulées.

L'analyse de sol est en mesure de déterminer les éléments nutritifs disponibles pour la plante dans le sol. Les sols ayant une fertilité déficiente seront clairement différenciés de ceux ayant une fertilité suffisante ou élevée. Il ne faut cependant pas attendre des analyses de sol et des recommandations de fumure qui en découlent une précision exagérée. Ainsi, une fumure effectuée au plus près des connaissances actuelles en la matière est la meilleure condition pour obtenir une récolte satisfaisante du point de vue qualitatif et quantitatif.

Tab. 28: Variabilité des diverses opérations (\pm en %) de la fumure depuis le prélèvement d'échantillon jusqu'à l'épandage de l'engrais (avis d'experts).

Opération	Variabilité
Prélèvement d'échantillon du sol	30
Prélèvement d'échantillon du sol à un moment inadéquat	60
Stockage, préparation et extraction des échantillons du sol	10
Détermination chimique des éléments nutritifs	5
Interprétation des analyses de sol (définition de la classe de fertilité «satisfaisant»)	20
Besoin des cultures en éléments nutritifs	20
Opportunité et précision des facteurs de correction	30
Choix de l'engrais adapté (p. ex. engrais composé ou organique) sur la base des besoins en chacun des éléments nutritifs	20
Épandage des engrais minéraux sur le terrain	30
Épandage des engrais organiques sur le terrain	40
Somme «engrais»	50

De nombreuses études démontrent que l'approvisionnement de l'arbre en éléments fertilisants a un effet décisif sur la qualité du fruit. Le fruit doit être pleinement développé et donc avoir été nourri de manière équilibrée, sans quoi il n'aura aucune chance sur le marché.

L'équilibre physiologique entre la croissance générative et la croissance végétative est réglé principalement par la taille et la régulation de la charge. L'alternance ne peut pas être éliminée par des apports d'azote élevés (Deckers et al. 2001). Sur les cultures à faible alternance, l'apport d'azote doit être intensifié en vue de profiter du potentiel qualitatif (couleur, fermeté, calibre, sucre) durant les années à fort rendement (environ 2,3% contre 2,05% MS de la feuille; Fallahi et al. 2001). La fumure doit permettre le développement des organes conformément à leurs besoins. Si l'arbre est mal nourri, les bourgeons souffriront en premier, puis la croissance des fruits et enfin la croissance des pousses. Dans le premier cas, ce sera la qualité des fruits de l'année suivante qui sera hypothéquée (risque accru de mauvaise floraison et faible charge, faible nombre de cellules du fruit et par conséquent diminution de la fermeté), dans le deuxième cas, la qualité du fruit de l'an en cours est pénalisée (calibre, couleur, fermeté, composantes, risque de troubles physiologiques).

Les normes pour les fruits à noyau permettent une formation de la couronne et une mise à fruit rapide dans des cultures fruitières modernes. La condition est justement pour les variétés à forte croissance une taille conséquente, sans quoi les apports d'azote recommandés par les normes sont accaparés par la croissance végétative. Des apports trop élevés, par contre, favorisent trop fortement la croissance qui à son tour domine sur l'induction florale. Lorsque les apports dépassent les besoins, ils ne peuvent tout simplement pas être assimilés.

Une fumure conforme aux besoins permet à l'arbre d'emmagasiner des réserves dans le bois. Au printemps, les nutriments mobilisés à partir du bois permettent la montée de la sève et assurent une bonne floraison et une charge conséquente (voir chap. 3). Les arbres bien approvisionnés développent également des boutons à fleurs forts et de bonne qualité.

Calcium, bore, phosphore et azote

Dans ce contexte, le calcium prend, à plus d'un titre, une importance particulière. Les sols de nos vergers sont en général suffisamment pourvus en calcium. Néanmoins, les analyses font régulièrement apparaître des sols pauvres en calcium. Même si c'est dans des sols franchement acides que le risque d'observer des carences en calcium est le plus grand, il convient de rester attentif à l'état calcique du sol et à le corriger en cas de besoin. Les cas nécessitant des apports ponctuels ou réguliers d'amendements calciques sont traités au chapitre 5.3. Sont à exclure les cultures exigeant un pH acide (par exemple le myrtille).

La maladie des taches amères (ou bitter-pit) résulte d'une mauvaise répartition du calcium dans la plante. Des facteurs liés à la physiologie de la plante (vigueur, charge) influencent fortement ce phénomène. Des excès de potassium peuvent également entraîner une mauvaise absorption du

calcium, surtout après nouaison. Au niveau de la fertilisation, il faut modérer les apports de potassium et assurer une fumure azotée adaptée. En sol normalement pourvu en calcium, un apport complémentaire au sol ne permet pas de résoudre ce problème. Les possibilités de pulvérisation foliaire de calcium sont traitées au chapitre 5.2.5.

Un bon approvisionnement en calcium est une condition incontournable pour obtenir des pommes dont la texture satisfasse aux exigences du marché. Le calcium a également une influence positive sur d'autres fruits (p. ex. la cerise), de par son statut d'élément constitutif de la paroi cellulaire. D'une façon générale on peut affirmer qu'une teneur élevée du fruit en calcium lui confère une meilleure fermeté (de 0,2 à 0,5 kg/cm²). L'assimilation du calcium et du bore est très limitée en cas de sécheresse au stade T (passage délicat entre la phase de division et la phase d'élongation des cellules du fruit). Plus tard l'apport de Ca et de B est de toute façon limité vu que l'approvisionnement du fruit se fait depuis les réserves du phloème, dans lequel ces éléments sont immobiles. Des teneurs élevées en phosphore dans le fruit (au minimum: 9 mg/100 g de fruit) augmentent encore la probabilité que la fermeté des fruits demeure après récolte.

L'azote, aussi, a ici une grande importance. La combinaison faible teneur en N et teneur élevée en Ca ralentit la diminution de la fermeté du fruit après sa maturité physiologique. Un sur-approvisionnement en N, c'est à dire une fumure qui dépasse largement les besoins de la plante produit des fruits mous, peu aromatiques et mal colorés (Fallahi et al. 2001). Même l'apport de faibles quantités d'azote en zone de consommation de luxe (p. ex. en application foliaire) peut avoir des conséquences sur la couleur des fruits (Bertschinger et al. 1997). Des apports trop élevés peuvent causer des dégâts aux pointes des racines qui sont très sensibles et importantes pour l'assimilation des éléments nutritifs.

Baies d'arbuste et petits fruits

Une trop forte fumure azotée des cultures de baies d'arbuste peut produire des fruits peu fermes et inaptes au stockage (Fruit-Union Suisse 2002). De plus, il faut compter avec une recrudescence de pourriture du fruit. Une trop grande disponibilité de l'azote dans la zone racinaire du framboisier et du roncier provoque la croissance de longues tiges épaisses sensibles à l'apparition de crevasses. Elles seront sujettes aux diverses maladies des tiges. Les tiges à croissance trop vigoureuse ont des potentiels de rendement notablement plus faibles que les tiges à vigueur moyenne ayant une faible distance entre les nœuds (Neuweiler und Bak 2001). Des apports élevés et précoces d'azote peuvent provoquer un éclatement des grappes du groseillier à grappes (Winter et al. 1992).

8 FUMURE ET ENVIRONNEMENT

Dans un système de nutrition équilibrée qui garantit le maintien de la fertilité du sol, il s'agit de valoriser par la plante les éléments apportés ou générés dans le sol. Ce principe consiste à réduire au maximum les pertes d'éléments qui sont préjudiciables à la fois aux plans économique et écologique. Pour maintenir la fertilité du sol à long terme et réduire les charges sur l'environnement, il faut que le cycle des éléments internes à l'exploitation soit fermé, c'est-à-dire que le bilan soit équilibré. Cela signifie que les entrées dans le plan de fumure ne dépassent pas les besoins des plantes.

Il est conseillé d'appliquer des engrais après avoir contrôlé la fertilité du sol par une analyse de terre. Lorsqu'un apport est nécessaire, il y a lieu de tenir compte des besoins spécifiques

et momentanés de la plante, afin que ces éléments puissent être absorbés. Une bonne connaissance du sol et des éléments utilisés facilite le choix du moment de leur application. Un élément très soluble, facilement drainé comme l'azote nitrique ou le sulfate de magnésium sera appliqué de préférence au départ de la végétation, éventuellement fractionné ou plus tard à fin floraison. Pour les éléments qui peuvent être stockés dans le sol comme le potassium ou les phosphates, la quantité et le moment des apports dépendent du type de sol, c'est-à-dire principalement de son taux d'argile et d'humus (complexe argilo-humique). Ces éléments pouvant être adsorbés sur le complexe, le risque de perte diminue lorsque le taux d'argile du sol augmente. Les fractionnements ne sont conseillés que lorsque le sol a moins de 10% d'argile.



9 FUMURE DES VERGERS EXTENSIFS

Les prélèvements de la culture environnante dépassent de loin ceux de l'arbre fruitier du verger extensif. La fumure de la culture environnante se base sur GRUDAF (Walther et al. 2001).

Les besoins totaux (norme) en éléments nutritifs purs représentent pour l'arbre en production et la culture sous-jacente environ:

150 kg d'azote (N), 100 kg de phosphore (P_2O_5), 300 kg de chaux (K_2O), et 50 kg de magnésium (Mg) par ha et année.

Les besoins totaux en éléments nutritifs d'un verger extensif peuvent être calculés comme suit:

Besoins de la culture environnante (selon l'intensité) auxquels on ajoute les besoins annuels de chaque arbre, soit 0,45 kg N, 0,15 kg P_2O_5 , 0,56 kg K_2O et 0,08 kg Mg par arbre et année, ou encore:

Besoins de la culture environnante auxquels on ajoute 1,5 kg N, 0,5 kg P_2O_5 , 1,8 kg K_2O et 0,25 kg Mg par tonne de rendement en fruits.

Ces chiffres sont des recommandations qui sont susceptibles de varier en fonction de l'intensité d'exploitation du pré. De ce fait, il est recommandé de contrôler l'état de fertilité du sol par des analyses régulières (chaque 5 ans).

En général on applique des engrais de ferme dans les vergers extensifs. Nous recommandons de suivre la démarche suivante:

Au printemps (février à mars) un apport moyen de fumier 20 t/ha réparti sur la surface totale. Selon les conditions climatiques, la vigueur de l'arbre et l'intensité d'exploitation du pré, jusqu'à 2 épandages de purin (d'environ 20 m³ chacun) peuvent être nécessaires.

Le dernier apport de purin doit se faire avant début juillet afin de prévenir un aoûtement trop tardif, dû à l'apport tardif d'azote, et les risques de gel qui en découlent.

Un apport ponctuel d'éléments fertilisants dans la région racinaire d'un arbre fruitier à haute tige peut, comme toujours, se réaliser par pal injecteur, principalement sur les vergers soumis à une limitation de fumure. L'apport peut être calculé comme suit:

Préparer une solution aqueuse (6 à 8%) avec l'engrais composé et appliquer à raison d'un litre de solution par cm de périmètre du tronc de l'arbre: injecter en deux piqûres par m² et l.



10.1 Principes

En arboriculture biologique, le but de la fertilisation est également de fournir aux arbres et arbustes, en temps voulu et en quantités adaptées, un approvisionnement optimal en éléments nutritifs, en vue d'assurer des performances qualitatives et quantitatives élevées. En agriculture biologique, la priorité de la nutrition des plantes est d'atteindre et de conserver un état de fertilité élevé du sol, tel que décrit en chapitre 3.1. Vu sous cet angle, il devient clair que la fumure ne sera qu'un moyen d'intervention, parmi tant d'autres, en vue d'obtenir des arbres et arbustes physiologiquement équilibrés et aptes à produire des fruits de la meilleure qualité. Ceci n'est possible que si la taille, la régulation de la charge et des mauvaises herbes sont effectuées en accord avec la fumure. Si la plante est trop peu nourrie, son assimilation et sa vitalité diminueront et non seulement la capacité de défense mais la qualité des bourgeons en souffriront, instaurant ainsi des rendements amoindris, une alternance et la baisse de qualité.

L'essentiel est de favoriser la vie du sol

L'arboriculture biologique dispose de peu d'engrais rapidement assimilables et de rares engrais foliaires. Une carence en un élément nutritif particulier, que ce soit par manque de fertilité du sol ou par mauvaise disponibilité dans le sol (p. ex. par tassement du sol et accumulation d'eau), peut de ce fait difficilement être corrigée rapidement.

En plus d'une fertilité suffisante et équilibrée, le sol doit avoir une bonne structure et une activité microbienne importante. L'apport suffisant et opportun d'éléments nutritifs par les engrais bio n'aura lieu que si une forte activité microbienne minéralise ces éléments sous forme assimilable par la plante (voir chapitre 3.1). C'est également pour cette raison que l'utilisation de produits à action rapide tels la chaux vive ou éteinte (CaO ou $\text{Ca}[\text{OH}]_2$) qui ont un effet irritant sur la faune du sol est proscrite en production biologique.

La promotion et la conservation d'un sol biologiquement actif et ayant une bonne structure présuppose, dans la mesure du possible, l'apport de substances nutritives sous forme organique.

En production biologique, la bonne structure du sol et la vitalité de ses micro-organismes doit palier à la nécessité d'utiliser des éléments nutritifs isolés à des fins correctives. Pour obtenir ce sol idéal, l'agriculture biologique utilise en priorité des engrais organiques de ferme et des engrais verts. Les vers de terre, les micro-organismes du sol les plus divers et les mycorhizes serviront à promouvoir un approvisionnement de la culture arboricole conforme à ses besoins.

10.2 Garde-fous de la fumure bio

La fumure pratique découle des directives et recommandations édictées par Bio-Suisse. Celles-ci sont basées sur l'ordonnance BIO.

Engrais du commerce autorisés (liste des produits auxiliaires)

La liste des produits auxiliaires éditée annuellement par l'institut de recherche pour l'agriculture biologique à Frick présente

l'assortiment complet des engrais du commerce (y compris teneurs) autorisés en agriculture biologique pour la Suisse.

Bilan de fertilité

Méthode: il s'agit de calculer un bilan nutritif selon la méthode «Suisse-Bilan» (sur exploitations sans bétail lorsque les éléments N et P sont importés ou lorsque la part des prairies extensives et peu intensives dépasse le 30% et que la charge en bétail par unité de surface fertilisable dépasse un certain seuil).

Le facteur temps: l'apport de P_2O_5 par compost ou Ricokalk apporté en une fois peut être réparti sur trois ans pour le bilan.

Analyse du sol: selon les exigences PER (prestations écologiques requises).

Apport maximal de fertilisants pour cultures fruitières

L'apport maximal en substances nutritives correspond à la norme de fumure adaptée aux conditions du terrain, conformément aux «Normes de fumure en arboriculture» (tab. 12 à 19). Le sulfate de potasse, la potasse magnésienne et la kaïnite magnésienne ne devraient être appliqués que sur la base d'une analyse du sol (effectuée par un laboratoire reconnu durant les 4 dernières années). Pour un sol en classe de fertilité A, seul le 75% des besoins de la plante peuvent être épandus par l'entremise de ces engrais, en classe B le 50% et en classe C le 25%.

Provenance des engrais de ferme

Les engrais de ferme ne peuvent être épandus que s'ils proviennent d'exploitations bio; des exceptions (voir directives Bio-Suisse «fertilisation») sont valables jusqu'en 2004. Les apports en provenance des exploitations non bio sont réglementés. Il existe des distances maximales entre exploitations (selon directives actuelles de Bio-Suisse).

Apports d'engrais de ferme

Les apports maximaux d'engrais de ferme se basent souvent sur leurs teneurs en potassium et en phosphore. Les engrais de ferme riches en potassium (entre autres le purin de bovin) peuvent provoquer des troubles physiologiques. Les engrais de ferme riches en phosphore (fumier de cheval, compost, etc.) ne peuvent souvent être épandus qu'en faibles quantités, vu les faibles besoins relatifs des plantes (contrôler avec Suisse-Bilanz).

Compost, boues d'épuration

Comme en arboriculture traditionnelle, les teneurs maximales en métaux lourds sont déterminées par l'ordonnance fédérale sur les substances du compost. L'apport maximum sera de 25 t de compost sur 3 ans (voir tab. 26).

Pour le reste, il est fait référence à des aspects particuliers à mêmes de faciliter la compréhension de la fumure bio.

10.3 Humus

La teneur en matière organique du sol devrait être supérieure à 2,5% et ne pas diminuer avec le temps.

Si la teneur en MO est en dessous de 2,5%, utiliser des engrais à teneur en matière organique élevée et/ou recouvrir le sol sur la ligne d'arbres de roseaux de Chine ou de copeaux d'écorce (surveiller l'apport en K). Pour les teneurs moyennes des divers engrais de ferme, voir tableau 26.

10.4 Azote

Engrais

Le choix du moment, de l'intensité et de la forme du travail du sol déterminera la disponibilité de l'azote.

Le choix d'engrais azotés du commerce sera dicté par sa vitesse de mise à disposition des éléments nutritifs de la plante (voir liste des auxiliaires).

L'épandage de purin, non irritant, approvisionne assez rapidement en azote et peut se faire entre avril et mai. L'épandage de fumier jeune (de 3 à 4 mois) doit être fait tôt (février à mars), de par la lenteur de la minéralisation de l'azote.

Certains engrais azotés à action rapide, sous forme solide ou liquide, sont également conformes au bio (voir tab. 22); c'est le cas de la poudre, de la semoule et des rognures de corne (12 à 14% N); la poudre de corne agit déjà entre 10 et 14 jours, les rognures entre 8 et 10 semaines, le tourteau de ricin (6% N). Il convient de mentionner encore: la vinasse (9,5% N, sous-produit de l'extraction du sucre des betteraves), la farine de poil ou de plume (13% N), les solutions d'acides aminés (55% acides aminés et peptides, 9% N organique) ainsi que des tourteaux de pressurage de diverses graines oléagineuses (4,5 à 8,5% N).

Ces engrais peuvent surtout servir à passer, cas échéant, le stade printanier de déficit en azote. Des conditions de fertilité du sol suboptimales ne peuvent ni ne doivent être compensées par des apports d'azote rapidement assimilable.

10.5 Phosphore (P₂O₅)

Engrais

Substrat de champignon, compost, fumier en tas: à ne pas enfouir ou alors peu profond.

Engrais minéraux: enfouir moyennement à profond (p. ex. avant labour).

Les engrais P et K ne sont apportés en complément que sur la base d'analyses du sol dévoilant un déficit évident (voir les directives de Bio-Suisse). Engrais minéraux autorisés: phosphate naturel tendre, scories Thomas.

10.6 Potassium (K₂O)

Engrais

Substrat de champignon, purin, fumier en tas, compost, substances organiques (p. ex. paille de colza, roseau de Chine, paille de roseaux, copeaux d'écorce): à ne pas enfouir ou alors peu profond.

Sous forme d'engrais minéral sont autorisés: sel de potassium non chloré, p. ex. kaïnite, sylvinite, sulfate de potasse et potasse magnésienne (30% K₂O, 6% Mg). Engrais composés (quelques engrais N contiennent également du potassium) et poudre de roche riche en K. Voir aussi chapitre 10.2 (garde-fous de la fumure bio).

Attention: une teneur trop élevée du sol en potassium favorise le danger des tâches amères chez la pomme.

10.7 Calcium (Ca)

Engrais

Différents engrais calciques sont disponibles qui agissent de manière plus ou moins alcaline (observer l'effet pH, voir tab. 22).

Les engrais calciques solubles (chlorure de calcium) pour lutter contre les tâches amères sont soumis à des prescriptions (voir chap. 10.9).

10.8 Magnésium (Mg)

Engrais

Moutures de roches et produits d'algues (observer l'effet pH). L'utilisation de sulfate de magnésium (= Bittersalz) est soumise à des prescriptions (voir chap. 10.9).

Compost, fumier, purin, substances organiques (p. ex. paille de colza, roseaux de Chine, paille de roseaux, copeaux d'écorce): à ne pas enfouir ou alors peu profond.

10.9 Oligo-éléments, fumure foliaire en Ca, Mg et fortifiants

L'agriculture biologique aspire à une nutrition harmonieuse des plantes par l'entremise d'un sol et d'un système racinaire sains. La fumure foliaire est supposée combattre les symptômes et doit rester une mesure d'urgence.

Les engrais foliaires tels que le sulfate de magnésium (Bittersalz), le fer, le bore, le manganèse, le zinc et le molybdène sous forme de chélates, de sulfates ainsi que de chlorure de calcium ne peuvent être appliqués que si certaines conditions sont remplies, avec obligation d'annoncer auprès de l'office de contrôle bio:

- le besoin doit en être avéré. Ont valeur de preuve: une analyse de sol ou de la feuille (de moins de 4 ans et effectuée par un laboratoire reconnu) ou alors des symptômes de carence visibles, ou encore de cas répétés des tâches amères chez la pomme;
- il existe une parcelle de contrôle séparée (sans traitement);
- l'efficacité de l'épandage d'engrais est documenté.

10.10 Amendements du commerce

Les amendements destinés à améliorer les caractéristiques du sol, comme certaines poudres de roche (p. ex. la poudre de roche riche en silice), les produits à base d'algue, les produits à base de lignite, le sable de

quartz codé, etc., font également partie des engrais. L'efficacité de ces produits est malheureusement trop peu souvent corroborée par des résultats d'essais neutres, alors même que l'on entend régulièrement parler d'expériences pratiques concluantes. Ceci est tout à fait imaginable par exemple dans le cas des produits à base d'algues, au vu qu'ils contiennent du calcium, des compo-

sants organiques et de nombreux nutriments microscopiques dans une forme facilement assimilable qui provoque une réactivation énergique de l'activité des microorganismes du sol et des racines de la plante. Les produits autorisés sont répertoriés dans la liste des produits auxiliaires (voir chap. 10.2).



Les notions définies dans le présent glossaire sont en *italique* dans le texte.

AAE10	Abréviation pour la méthode d'analyse du sol par extraction à 1:10 d'acétate d'ammonium + EDTA en vue de déterminer les éléments nutritifs disponibles (éléments fortement liés et facilement solubles) (voir sous réserve d'éléments).
Analyse du sol	Analyse chimique du sol en vue de déterminer ses éléments nutritifs (macro-éléments sans l'azote et exceptionnellement les microéléments).
Antagonisme	Concurrence entre les éléments nutritifs sous forme d'ions positifs. La concentration élevée d'un élément empêche l'absorption d'un autre élément qui se trouve en concentration plus faible.
Arboriculture commerciale	Culture fruitière moderne relativement dense. Le guide fédéral d'estimation définit la densité minimale pour tous types de vergers à 150 arbres/ha, sauf pour les cerises pour lesquelles elle est de 100 arbres/ha. L'Ordonnance fédérale sur la terminologie agricole (1993) définit: «Par cultures fruitières, on entend les vergers de forme compacte comprenant: 300 arbres par hectare au moins s'il s'agit de pommiers, de poiriers, de pruniers, de pêcheurs, de cognassiers, d'acacias (kiwis) et de sureau; 200 arbres/ha pour les abricotiers et 100 arbres/ha pour les cerisiers.»
Azote disponible	Part de l'azote total provenant de résidus de cultures, d'engrais de ferme, de déchets, d'engrais verts et qui est ou sera disponible pour la plante à court et moyen terme dans des conditions d'exploitation optimales. Cette grandeur n'est pas comparable à l'azote utile pour le rendement car le moment de sa disponibilité ne correspond pas forcément à celui du besoin en azote de la plante.
Besoins en éléments nutritifs	Voir norme synonyme et norme corrigée.
Capacité	Rétention réversible d'éléments nutritifs dans le sol; déterminée approximativement par la méthode AAE10.
Capacité d'échange des cations (CEC)	Représente la quantité de cations retenus dans les couches intermédiaires du complexe argilo-humique ou des minéraux argileux ou encore qui peuvent être fixés aux minéraux. Elle est une mesure de la capacité du pouvoir tampon du sol et de la part correspondante en cations.
Carence	Déficit latent d'un élément nutritif particulier qui peut être visible ou invisible de l'extérieur. Une carence visible provoque chez chaque type de plante des symptômes caractéristiques; une carence invisible, plus fréquente, ne sera détectée que par analyse et/ou sur la base d'essais.
Durabilité de la production arboricole.	L'exploitation des éléments nutritifs présents et apportés dans le sol permet l'expression optimale du potentiel de rendement et de qualité de la culture et du site, les pertes en éléments nutritifs sont minimisées ce qui rend possible un bon résultat économique.
Éléments nutritifs disponibles pour la plante	Éléments nutritifs mesurés dans l'extrait d'eau à 1:10, sont considérées comme étant immédiatement disponibles donc assimilables par la plante.
Facteurs de correction	Facteurs correctifs de la norme de fumure en conditions (nutritives) inadéquates de sol, du site ou de culture.
Fertilité, niveau d'approvisionnement	Appréciation approximative de la teneur du sol en éléments nutritifs P, K, Mg et Ca.
Fumure	Epannage des substances nutritives correspondant aux besoins, ceci, au moment juste, de la bonne manière, au bon endroit (sur le sol ou sur la plante) et en quantité adaptée.
Intensité	Éléments nutritifs, de la solution de sol, disponibles pour la plante; déterminés approximativement par l'extraction à l'eau.
Interligne	Part de la culture fruitière sans arbres, environ les deux tiers de la surface totale. En général il est engazonné et sert à l'exploitation et au transport.
Lessivage	Éléments entraînés par les eaux de pluie de la partie du sol exploitée par les racines en profondeur, particulièrement l'azote. Le lessivage occasionne des pertes nutritives (partiellement inévitables) pour les plantes cultivées et une charge pour l'environnement.
Ligne d'arbres	Part du terrain cultivé sur lequel se trouvent les arbres. Près du tiers de la surface totale.
Macro-éléments	Azote (N), phosphore (P, forme oxydée: P ₂ O ₅), potasse (K, forme oxydée: K ₂ O), magnésium (Mg), calcium (Ca).
Matière organique	Elle est composée des organismes du sol, de restes de plantes et d'humus.

Micro-éléments	Bore (B), fer (Fe), cuivre (Cu), manganèse (Mn), molybdène (Mo), soufre (S), zinc (Zn).
Moyen d'extraction	Eau avec ou sans substances chimiques et qui permet les échanges des éléments contenus dans le sol.
Norme corrigée	Norme corrigée par le facteur correctif sur la base d'un approvisionnement nutritif inadéquat du sol (macro-éléments sauf l'azote sur la base d'une analyse du sol), d'un développement insuffisant de la culture (particulièrement aussi pour l'azote) et d'un profil du sol aux caractéristiques inadéquates. Synonyme: besoin en éléments nutritifs corrigé.
Norme de fumure	Besoins en éléments nutritifs en conditions de sol et de climat usuelles, pour des sols approvisionnés de manière optimale en éléments nutritifs et un développement optimal des cultures en vue d'obtenir de bons rendements de qualité irréprochable. La norme de fumure de l'azote sera toujours supérieure aux prélèvements du fait que l'azote disponible ne pourra être que partiellement assimilé par la plante (voir utilisation de l'azote). Pour le solde des macroéléments, la norme correspond plus ou moins aux prélèvements. Synonyme: besoin en éléments nutritifs.
Nouvelle culture	Création d'une culture fruitière sur un terrain qui n'en a jamais porté.
Phase de croissance	Années de mise en place de la culture fruitière précédant la phase de pleine production. Varie de 2 à 5 ans en fonction du terrain et du type de culture choisi.
Phase de pleine production	Phase d'une culture fruitière commerciale en pleine production, suite à la phase de croissance. Durée, selon le terrain et le choix de culture entre 10- et 15 ans, avant la baisse du rendement.
Prélèvement de culture	Éléments nutritifs prélevés du sol par la culture, exclusion faite des résidus de culture et dépendant de son niveau de rendement. En matière de fumure, la parcelle ou l'exploitation globale constitue la limite du système, de sorte que les éléments nutritifs (résidus de cultures) qui demeurent sur la parcelle ne font pas partie des prélèvements.
Profil du sol	Découverte du sol à l'aide d'une tranchée allant jusqu'aux dernières couches explorées par les racines et qui permet d'observer ses caractéristiques.
Reconstitution	Plantation d'une culture fruitière sur un terrain qui en a déjà porté.
Rendement visé	Rendement escompté en fruits de qualité supérieure d'une culture fruitière en la phase de pleine production.
Réserve d'éléments	Les éléments nutritifs que l'on trouve dans l'extrait EDTA d'acétate d'ammonium au 1:10 (voir AAE10), en plus des éléments nutritifs facilement disponibles pour la plante, sont considérés comme disponibles dans les années à venir.
Résidus de récolte	Parties de plantes (feuilles, parties lignifiées, fruits tombés) demeurant sur le champ après la récolte.
Saturation alcaline	Réserves en potasse, magnésium et calcium disponible pour la plante en % de la capacité d'échange des cations.
Site	Le site représente la somme de divers facteurs qui caractérisent les conditions du milieu et l'état de la culture exploitée de manière usuelle. Il s'agit des caractéristiques du sol comme sa texture et sa structure, sa teneur en matière organique, sa capacité de rétention d'eau, etc., la vitalité du milieu (intensité de la croissance, aoûtement, danger de gel), le risque de troubles physiologiques, la tendance à l'alternance, etc.
Solution aqueuse du sol	L'eau qui se trouve dans le sol avec les éléments nutritifs dissous assimilables par la plante.
Structure du sol	Relation privilégiée entre matière organique et éléments minéraux du sol; on recherche une structure grumeleuse.
Synergies	Des éléments nutritifs chargés positivement et négativement peuvent favoriser leur assimilation mutuelle.
Texture du sol	Composition physique des divers éléments minéraux du sol en argile, limon et sable.
Troubles physiologiques	Maladie d'une plante due à des apports nutritifs insuffisants ou erronés et non pas due à un vecteur de maladie (oiseau, rongeur, insecte, champignon, bactérie, virus).
Utilisation d'azote	Part de l'azote disponible du sol assimilé par la plante et ainsi soustrait au sol. L'azote disponible non assimilé par la plante peut être soumis au lessivage.

- Aichner, M., and Stimpfl, E., 2001. Seasonal pattern and interpretation of mineral nutrient concentrations in apple trees. P. 89 in: Int. Symp. Foliar Nutrition of Perennial Fruit Plants. Meran Sept. 11-15, 2001. Book of Abstracts. ISHS, Brussels.
- Batjer, L. P., Roger, B. L., and Thompson, A. H., 1952. Fertilizer applications as related to utilisation by apple trees. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 60: 1-6.
- Bertschinger, L., Henauer, U., Lemmenmeier, L., Stadler, W., and Schumacher, R., 1997. Effect of foliar fertilizers on abscission, fruit quality and tree growth in an integrated apple orchard. Acta Horticulturae 448:43-50.
- Belger, E. U., et al. (sans date; J. P. Ryser 8.5.2002). De l'importance des oligo-éléments en agriculture. Document BASF AG, D-6700 Ludwigshafen. 57 pp.
- Bio-Suisse 2002. Richtlinien für den biologischen Landbau, Basel, Schweiz.
- Commission romande de fumure sous-commission arboricole, 1993. La fertilisation des arbres fruitières kiwis et des arbustes à baies; 1^{er} partie: directives (révision 1993)! Revue Suisse Vitic. Arboric. Hortic. 25(3): 189-199.
- Deckers, T., Schoofs, H., Daemen, E., and Missotten, C., 2001. Effect of long term soil and leaf application to apple cv. Jonagold and Boskoop on Nmin in the soil and on leaf and fruit quality. Acta Hort. 564:269-282.
- Drawert, F., Heimann, W., und Rolle, K., 1970: Über Aminosäuren in Früchten und deren Verhalten während Wachstum und Reife. I. Quantitative Bestimmung von freien und gebundenen Aminosäuren in verschiedenen Früchten. Zeitschrift Lebensmittel-Untersuchung und Forschung 145, 7-15.
- Évequoz, Ch., and Bertschinger, L., 2001. Development of an interpretation scale for N-Tester- or SPAD-values from apple leaves (*Malus domestica* Borkh.) cv Golden Delicious in Switzerland. p. 92 in: Int. Symp. Foliar Nutrition of Perennial Fruit Plants. Meran Sept. 11-15, 2001. Book of Abstracts. ISHS, Brussels.
- Fallahi, E., Colt, W. M., Fallahi, B., and Chun, I. J., 2001. Influence of different rates of nitrogen on fruit quality, yield photosynthesis of 'Fuju' apple. Acta Hort. 564:261-268.
- FAL. Schriftenreihe 41. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau. 8046 Zürich-Reckenholz.
- Green, A., 1974. Soft fruits. Biochemistry of Fruits and Their Products, Herausgeber A. C. Hulme, Bd. 2, Academic Press, London, New York, 2. Auflage.
- Gruppe, W., 1965. Seite 846 in: Scharrer, Karl, und Linser, Hans, Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung, Springer-Verlag.
- Gut, D., Barben, E., und Riesen, W., 1995. Winterbegrünung der Baumstreifen in Apfelanlagen durch natürliche Verunkrautung. Schweiz. Zeitsch. Obst- Weinbau 131:608-610.
- Gut, D., Barben, E., Riesen, W., und Huber, J., 1997. Unkraut auf dem Baumstreifen fördert die Bodenfruchtbarkeit ohne Ertragsreduktion. Schweiz. Zeitsch. Obst- Weinbau 133:657-660.
- Gysi, Ch., Fankhauser, E., und Schumacher, R., 1983. Nährstoffversorgung und Obstqualität (relation of apple fruit quality and nutrition in orchards). Landwirtschaft. Forsch. 36, Kongressband 1983: 202-208.
- Gysi, Ch., Ryser, J.-P., Heller, W., und Arbeitsgruppe Bodenuntersuchungen in Spezialkulturen 1993. Flugschrift 129, Eidg. Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau, Wädenswil, 18 p.
- Handbuch Gemüse 2002. Verband Schweizerischer Gemüseproduzenten (VSGP), 3003 Bern.
- Hasler, A., und Hofer, H., 1975. Düngungslehre. Verlag Wirz, Aarau.
- Heller W., Husistein, A., Meli, T., Riesen, W., und Schumacher, R., 1993. Flugschrift Nr. 15, Düngung der Obstbäume. FAW 8820 Wädenswil.
- Heller, W., und Ryser, J. P., 1997a. La carence en magnésium en arboriculture. Magnesiummangel im Obstbau. Schweiz. Zeit. Obst-Weinbau 133. & Rev. Suisse Viti. Arbo. Hort 29(5), AMTRA, 1260 Nyon.
- Heller, W., und Ryser, J. P., 1997b. La carence en manganèse en arboriculture. Maganmangel im Obstbau. Schweiz. Zeit. Obst-Weinbau 133. & Rev. Suisse Viti. Arbo. Hort 29(5), AMTRA, 1260 Nyon.
- Heller, W., und Ryser, J. P., 1997c. Eisenmangelchlorose im Obstbau. Schweiz. Zeit. Obst-Weinbau 133. & Rev. Suisse Viti. Arbo. Hort 29(5), Rev. Suisse Viti. Arbo. Hort 29(5), AMTRA, 1260 Nyon.
- Huguet, C., 1980. L'alimentation des arbres et la fertilisation. Brochure Le cerisier, CTIFL, pp. 54-64.
- IFA 1992. World fertilizer use manual. Ed.: E. Wichmann. IFA, Paris: 632.
- Jacob, A., 1961. La magnésie, cinquième élément majeur de l'alimentation des plantes. Editions Dangles, 28, rue de Moscou, Paris 8^{ème}, 243 pp.
- Liebster, G., 1961. Die Kulturheidelbeere. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- Loué, A., 1993. Oligo-éléments en agriculture (p. 65). SCPA - NATAN, 577 pp.
- Mantinger, H., 2001. Problemfall Stippe. Düngung und Fruchtqualität mit Schwerpunkt Stippe. Besseres Obst 7/2001:4-14.
- Marangoni, B., and Rombolà, A. D., 1994. Effetti del portinesto sull'accumulo di elementi minerali, acidi e carboidrati in frutti di pesco (cv. Redhaven). Proceedings II Giornata Scientifiche SOI:419-420.

- Neilsen, G. H., Parchomchuk, P., Neilsen, D., Bercard, R., and Hogue, E. J., 1995. Leaf nutrition and soil nutrition are affected by irrigation frequency and method for NP-fertigated 'Gala' apple. *J. Amer. Soc. Hort. Soc.* 120:971-976.
- Neuweiler, R., und Bak, H., 2001. Anbautechnische Kniffe gegen Rutenkrankheiten bei Himbeeren. *Schweiz. Zeitschrift Obst-Weinbau* 137:42-45.
- Pontailleur, S., 1972. Les oligo-éléments. Le document technique de la SCPA No 15. Place du Général de Gaule, F-6800 Mulhouse, p. 66.
- Porro, D., Dorigatti, D., Stefanini, M., and Ceschini, A., 2001. Use of SPAD meter in diagnosis of nutritional status in apple and grapevine. Proc. IV IS on Mineral Nutrition in Fruit. Eds. D. and G. Neilsen, B. Fallahi and F. Peryea. *Acta Hort.* 564:243-252.
- Quast, P., 1986. Düngung, Bewässerung und Bodenpflege im Obstbau. Ulmer Verlag.
- Ryser, J.-P., 1991. Fumure foliaire en grandes cultures. *Rev. Suisse Agric.* 23(6):317-320.
- Ryser, J.-P., et Pittet, J.-P., 1993. Rétention de l'azote du sol par un engrais vert. *Rev. suisse d'agriculture* Vol. 25(5): 297-301.
- Ryser, J.-P., Gysi, Ch., und Heller, W., 1995. Analyse de terre et interprétation en culture spéciales. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* 27(6):365-372.
- Ryser, J.-P., 1998. Analyses de sol dans les grandes cultures et les herbages. Barème provisoire d'interprétation des résultats obtenue par extraction à l'acétate d'ammonium + EDTA 1/10. *Revue suisse d'agriculture* 30(4). P. 145.
- Ryser, J.-P. et Pittet, J.-P. 1999. Effect des fumures organiques sur les cultures et les pertes par drainage. *Rev. suisse d'agriculture* Vol. 31(6): 271-276.
- Schweizerische Arbeitsgruppe für den integrierten Obstbau (SAIO) 2001. Richtlinien für die integrierte Obstproduktion. Schweizerischer Obstverband, Zug.
- Schweizerischer Obstverband 2002. Handbuch Beeren, Ausgabe 2002, Zug, 129 S.
- Sanz, M., and Montanes L., 1995. Floral analysis: a novel approach for the prognosis of iron deficiency in pear (*Pyrus communis* L.) and peach (*Prunus persica* L. Batsch). Ed. J. Abdaia. *Iron Nutrition in Soils and Plants*, pp. 371-74. Kluwer Acad. Pub.
- Sanz, M., Belkhdja, R., Toselli, M., Montanes, L., Abadia, A., Tagliavini, M., Marangoni, B., and Abadia, J., 1997. Floral analysis as possible tool for the prognosis of iron deficiency in peach. Proc. III IS on Mineral Nutrition in Fruit. *Acta Hort.* 448:241-245.
- Schroeder, D., 1984. *Bodenkunde in Stichworten*. 4. Auflage. Verlag Ferdinand Hirt.
- Schumacher, R., und Stadler, W., 1991. Stickstoff- und Kaliumversuch bei Gravensteiner. *Schweiz. Zeit. Obst-Weinbau* 127:307-310.
- Schumacher, R., und Stadler, W., 1988. Einfluss verschiedener Bodenpflegemassnahmen auf Ertrag und Qualität von Cox Orange. *Schweiz. Zeit. Obst-Weinbau* 124:298-305.
- Schumacher, R., Fankhauser, E., Gysi, C., Oettli, C., und Stadler, W., 1981. Beurteilung der Stickstoffversorgung von Obstbäumen mit Hilfe eines Farbmessgerätes im Vergleich zu anderen Methoden. *Schweiz. Zeit. Obst-Weinbau* 117:601-609.
- Shear, C. B., and Faust, M., 1980. Nutritional ranges in deciduous tree fruits and nuts. *Horticultural Reviews* 2:142-207.
- Smith, G. S., Buwala, J. G., and Clark, C. J., 1988. Nutrient dynamics of a kiwifruit ecosystem. *Scientia Horticulturae* 37:86-109.
- Souci, S. W., Fachmann, W., und Kraut, H., 1977. Die Zusammensetzung der Lebensmittel-Nährwert-Tabellen. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart.
- Suisse-Bilanz 2001. Dokumentation. LBL, Lindau; SRVA, Lausanne.
- Tagliavini, M., Scudellari, D., Marangoni, A., Franzin, F., and Zamborlini, M., 1992. Leaf mineral composition of apple tree: sampling date and effects of cultivar and rootstock. *J. plant nutrition* 15:605-619.
- Tagliavini, M., Quartieri, M., and Millard, P., 1997. Remobilised nitrogen and root uptake of nitrate for spring leaf growth, flowers and developing fruits of pear (*Pyrus communis* L.) trees. *Plant and Soil* 195:137-142.
- USDA 1963. *Composition of Foods*. Eds: B. K. Watt and A. L. Merrill. *Agriculture Handbook* vol. 8.
- USDA 1992. *Composition of Foods*.
- Walther, U., Ryser, J. P., und Flisch, R., 2001. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau 2001 (GRUDAF). *FAL*, 8046 Zürich, und *RAC*, 1260 Nyon. *Agrarforschung* 8/6: 2001.
- Weibel, F., Bickel, R., Leutold, S., Alföldi, T., and Niggli, U., 1999. Are organically grown apples tastier and healthier? A comparative study using conventional and alternative methods to measure fruit quality. Proc. 12th International IFOAM Scientific Conference, Mar del Plata, Argentina, Nov. 15-19, 1998. IFOAM, Tholey-Theley, German, p. 147-153.
- Widmer, A., und Krebs, Chr., 1999. Was bringt die Fertigation im Vergleich zur Baumstreifendüngung? *Schweiz. Zeit. Obst-Weinbau* 135:51-522.
- Winter, F., Janssen, H., Kennel, W., Link, H., Scherr, E., Silbereisen, R., und Streif, J., 1992. *Lucas' Anleitung zum Obstbau*. Verlag Eugen Ulmer, 415 S.
- Zihlmann, U., Ackerböden standortgerecht nutzen. Hasinger, G. *Bodenbeurteilung im Felde*. *UFA Revue* 2/1993.

ADRESSES DES OFFICES CANTONALES D'ARBORICULTURE

AG	Kant. Zentralstelle für Obstbau	Landw. Bildungs- und Beratungszentrum Frick	CH-5070	Frick
AI	Kant. Zentralstelle für Obstbau	–	CH-9050	Appenzell
AR	Kant. Zentralstelle für Obstbau	Landwirtschafts-Sekretariat	CH-9102	Herisau
BE	Kant. Gartenbauschule/ Fachstelle für Obst und Beeren	Oeschberg	CH-3425	Koppigen
BL	Kant. Zentralstelle für Obst- und Weinbau	Ebenrain	CH-4450	Sissach
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft	Mattenhofstr. 5	CH-3003	Bern
BS	Kant. Obstbaukommission	Lettackerweg 34	CH-4125	Riehen
FAW	Eidg. Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau	–	CH-8820	Wädenswil
FiBL	Forschungsinstitut für biologischen Landbau	Ackerstrasse	CH-5070	Frick
FR	Station cantonale d'arboriculture	Grangeneuve	CH-1725	Posieux
GE	Station cantonale d'arboriculture	Case postale 123	CH-1228	Plan-les-Ouates
GL	Kant. Zentralstelle für Obstbau	–	CH-8750	Glarus
GR	Bünd. Obst- und Rebbaukommissariat	Plantahof	CH-7302	Landquart
JU	Office cantonal d'arboriculture	Courtemelon	CH-2852	Courtételle
LU	Kant. Zentralstelle für Obstbau	Centralstrasse 21	CH-6210	Sursee
NE	Station cantonale d'arboriculture c/o Service de l'économie agricole	Aurore 1	CH-2053	Cernier
NW	Kant. Zentralstelle für Obstbau und Obstverwertung	Postfach 1163	CH-6371	Stans
OW	Landw. Beratung Obstbau	Landw. Schule	CH-6074	Giswil
RAC	Station fédérale de recherches agronomiques	Fougères	CH-1964	Conthey
SG	Kant. Zentralstelle für Obstbau	Landw. Schule	CH-9230	Flawil
SH	Kant. Zentralstelle für Obst- und Weinbau	Charlottenfels	CH-8212	Neuhausen
SO	Bildungszentrum Wallierhof	Wallierhof	CH-4533	Riedholz
SOV	Schweiz. Obstverband	Baarerstr. 88	CH-6302	Zug
SZ	Kant. Zentralstelle für Obstbau	Postfach 76	CH-8808	Pfäffikon
TG	LBBZ Arenenberg, Fachstelle Obst- und Rebbau	Arenenberg	CH-8268	Mannenbach
TI	Dipartimento dell'economia pubblica/ Sezione agricoltura	Ufficio consulenza agricola	CH-6500	Bellinzona
UR	Kant. Zentralstelle für Obstbau	A Pro-Strasse 44	CH-6462	Seedorf
VD	Station cantonale d'arboriculture	Marcelin	CH-1110	Morges
VS	Office cantonal d'arboriculture	–	CH-1950	Châteauneuf
ZG	Kant. Zentralstelle für Obstbau und Obstverwertung	Schluethof	CH-6330	Cham
ZH	Kant. Zentralstelle für Obstbau und Obstverwertung	Strickhof	CH-8315	Lindau