



Le diagnostic foliaire en arboriculture: bilan de 20 ans d'étude

J. A. NEYROUD, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, CP 1012, 1260 Nyon

S. AMIGUET, Sol-Conseil, CP 1381, 1260 Nyon 1

G. ANDREY, Station cantonale d'arboriculture, Marcelin, 1110 Morges

Ch. EVEQUOZ, Office cantonal d'arboriculture, CP 437, 1951 Châteauneuf-Sion

@ E-mail: jean-auguste.neyroud@acw.admin.ch
Tél. (+41) 22 36 34 656.

Résumé

Cette étude évalue les résultats obtenus ces vingt dernières années par la technique du diagnostic foliaire en arboriculture. Des échantillons de référence de feuilles d'abricotier, de cerisier, de poirier et de pommier sont prélevés dans des vergers sélectionnés, à une date fixée; la comparaison de leurs teneurs en N, P, K, Mg et Ca permet de définir des teneurs de référence et des plages de tolérance tenant compte des paramètres statistiques de distribution. Selon l'espèce végétale et l'élément nutritif, il est parfois nécessaire de distinguer des références par variété ou même par année. Les résultats d'analyse d'échantillons provenant de vergers quelconques sont ensuite comparés aux valeurs de référence et interprétés en termes d'offre en éléments nutritifs, d'équilibre d'alimentation et de vigueur du végétal. Les résultats obtenus confirment l'intérêt de la méthode, qui pourrait encore être améliorée par une meilleure définition du moment du prélèvement et par une intégration plus poussée de toutes les relations entre paramètres analysés, comme le montre l'approche selon la méthode DRIS.

l'expression de la nutrition des cultures pérennes ne se traduit pas seulement en termes de rendement (quantitatif et qualitatif), mais également en termes de production de bois et de mise en réserve pour l'année suivante. Ces difficultés expliquent le développement relativement modeste de la technique du diagnostic foliaire à ce jour.

Le diagnostic foliaire est étudié depuis longtemps à la Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW. Ryser (1982) en a décrit la procédure, principalement appliquée en arboriculture et en viticulture. Rappelons qu'il s'agit de constituer une base de données de référence provenant de feuilles de vergers et de vignobles sains, en conditions optimales de production et dont les teneurs moyennes et les rapports moyens entre nutriments seront considérés comme des valeurs de référence. Les résultats d'analyses provenant d'un verger ou d'une vigne quelconque sont alors comparés aux valeurs de référence correspondantes et interprétés en termes de disponibilité et d'équilibres entre EN. Les échantillons de feuilles sont prélevés à un stade précis de végétation et les résultats d'analyses alimentent à leur tour les bases de données constituées. Collaud (comm. pers., 2006) signale qu'en pratique, une recommandation de fertilisation par le diagnostic foliaire tient toujours compte des résultats obtenus par l'analyse classique du sol, qu'elle complète heureusement.

Dans cette publication, les auteurs comparent les teneurs et les rapports des EN entre eux dans les feuilles des différentes espèces et variétés et des différentes régions durant une vingtaine

Introduction

Un des reproches fréquemment adressés à l'analyse de sol en vue du conseil de fumure est que les quantités d'éléments nutritifs (EN) extraits du sol par voie chimique ne correspondent pas toujours à la capacité de la plante à s'approvisionner. Cette mauvaise concordance s'explique en partie par la localisation des racines dans la profondeur, la disponibilité de l'eau, les conditions de pH, etc. (Elwali et Gascho, 1984). Plusieurs chercheurs se sont efforcés de démontrer que l'analyse de la teneur des feuilles en EN reflète exactement les conditions d'alimentation de la plante et peut par conséquent remplacer l'analyse de sol (Thomas, 1937, Yates, 1965). Cette approche porte le

nom de «diagnostic foliaire». Malheureusement, elle rencontre de nombreux obstacles: comme la biomasse formée croît en cours de saison, l'expression des teneurs en nutriments en fonction de cette masse (en % de matière sèche) varie également; la comparaison de résultats n'est donc possible qu'entre échantillons prélevés à un même stade de développement. De nombreux travaux montrent que les teneurs en azote, phosphore et potassium ont tendance à diminuer avec l'avancement de l'âge physiologique de la feuille, contrairement aux teneurs en calcium et en magnésium, qui augmentent. D'autres travaux révèlent que les teneurs en nutriments des plantes varient au cours de l'année, selon les aires pédo-climatiques et même entre variétés. Enfin,

d'années. La recherche de nouvelles références, investissement périodique en temps et en frais d'analyses, alourdit le coût opérationnel de l'action diagnostic foliaire. Il importe d'évaluer de manière approfondie les critères rendant indispensable la recherche de références annuelles.

Dès 2001, l'action diagnostic foliaire s'est concentrée sur quatre espèces fruitières (pommier, abricotier, cerisier et poirier), selon un dispositif permettant de répondre aux questions pendantes et d'évaluer l'intérêt de cette technique d'analyse.

Matériel et méthodes

Depuis les années 1970, des échantillons de feuilles de pommier et de vigne ont été prélevés chaque année par les services cantonaux de Suisse romande et les collaborateurs d'Agroscope Changins-Wädenswil ACW, puis traités et analysés par le laboratoire Sol-Conseil. Les sites choisis correspondent à des cultures en pleine production, sur lesquelles aucun problème n'a été relevé et dont les résultats d'analyses chimiques constituent une base de valeurs de référence. Seuls les résultats d'analyses postérieurs à 1986 ont été pris en compte dans cette étude. Durant ces vingt années, les variétés se sont renouvelées, ainsi que les sites de prélèvement. Le prélèvement des feuilles (avec pétiole) selon un protocole défini est effectué 75 jours après la floraison des arbres, au milieu de la pousse de l'année. A la vigne, le prélèvement se fait à la véraison des baies, en face de la première grappe (le diagnostic foliaire en viticulture se limite actuellement à des comparaisons relatives de résultats et ne sera pas discuté dans cet article). Les échantillons sont conservés en milieu réfrigéré puis acheminés au laboratoire Sol-Conseil, où ils sont lavés dans une solution d'acide citrique à 0,2%, soigneusement égouttés, pesés, mis à sécher à 65 °C et pesés à nouveau. Le matériau séché est réduit en poudre dans un moulin à marteau. Une aliquote de 1,0 g est pesée et sa teneur en N analysée selon le procédé Kjeldahl; Une autre aliquote de 1,0 g est calcinée à 500 °C, reprise dans 10 ml d'acide chlorhydrique 1:1, évaporée, reprise dans 10 ml d'acide nitrique à 10%, refroidie à l'eau et filtrée; les éléments chimiques présents dans le filtrat sont dosés par colorimétrie (P) et par spectrométrie d'émission atomique à plasma inductif (ICP-AES) (K, Ca et Mg). Des analyses d'oligo-éléments (B, Cu, Fe, Mn, Zn) ont aussi été exécutées sur plusieurs échantillons. Les opérations de laboratoire respectent les modes opératoires prévus à cet effet (Sol-Conseil, 2001). Un programme informatique permet de comparer tout nouveau résultat aux valeurs de référence correspondantes de la base de données. Il permet également de générer un rapport d'analyse commentant le taux de matière sèche et les teneurs en N, P, K, Ca et Mg (en % MS). Enfin, treize paramètres supplémentaires exprimant l'abondance relative des nutriments permettent d'affiner l'état de l'approvisionnement de la plante.

Résultats

Les conclusions d'une première action diagnostic foliaire ont été tirées par Rysler (1982); les résultats obtenus servaient de références auxquelles pouvaient être comparés les résultats de toute nouvelle analyse. Ces résultats se basaient chaque année sur les teneurs moyennes réelles et quelques rapports de concentrations relatives en N, P, K, Ca et Mg, de feuilles de pommiers de variétés distinctes et provenant de vergers sains et à rendements quantitatifs et qualitatifs élevés.

Le concept de référence

La teneur d'une feuille en EN ne peut être interprétée que par rapport à une teneur idéale mesurée dans les vergers les plus productifs. Cette dernière devient une référence, complétée par une information sur les teneurs relatives des EN entre eux, qui renseignent sur les synergies et antagonismes. Un résultat de diagnostic foliaire comprend ainsi les teneurs en N, P, K, Ca et Mg de l'échantillon, exprimées en % de MS, et treize paramètres décrivant les proportions relatives entre éléments. L'hypothèse qui sous-tend le principe du diagnostic foliaire est qu'un rendement optimal ne peut être obtenu qu'avec une alimentation minérale optimale de la plante. Un rendement insuffisant quant à lui peut – entre autres causes – provenir d'une alimentation sub-opti-

male. Ce principe justifie la sélection des échantillons constituant la base de référence. Nous verrons plus loin que quelques autres critères méritent aussi d'être inclus dans la réflexion.

Valeurs de référence N, P, K, Ca et Mg par espèce fruitière et par variété

De 1987 à 2006, 856 échantillons de feuilles de pommier ont été prélevés, ainsi que 147 échantillons de feuilles de poiriers dès 1989, et enfin 79 échantillons de feuilles d'abricotiers et 75 de feuilles de cerisiers dès 2002. Les paramètres statistiques de l'ensemble des échantillons de référence, toutes espèces confondues, sont présentés au tableau 1. Le coefficient de variation (CV) de la teneur en azote exprimée en % de la matière sèche (MS) est nettement plus faible que celui des autres éléments. Cela montre la forte liaison entre l'absorption de l'azote et la production de biomasse, essentiellement constituée de carbone, d'oxygène, d'azote et d'hydrogène. L'absorption des autres éléments se déroule quant à elle de manière plutôt passive, en fonction de leur disponibilité effective dans le sol (Bailey *et al.*, 1997). Pour chaque élément, il existe une teneur-seuil dans la plante; au-dessus de ce seuil, les concentrations ioniques, parfois modifiées par des effets synergiques ou antagoniques, gèrent les

Tableau 1. Statistique globale sur les teneurs en éléments nutritifs (mg/100 g MS) de 1157 échantillons de feuilles de pommier (n = 856), de poirier (n = 147), d'abricotier (n = 79) et de cerisier (n = 75) provenant de vergers de référence.

	N	P	K	Ca	Mg
Moyenne	2,37	0,21	1,83	1,53	0,29
Ecart-type	0,31	0,05	0,58	0,37	0,08
CV (%)	13	23	32	24	26
Minimum	1,22	0,12	0,56	0,5	0,09
Maximum	3,53	0,54	5,11	3,64	0,77

Tableau 2. Teneurs moyennes en éléments nutritifs (mg/100 g MS) et coefficients de variation (%) dans les feuilles de quatre espèces fruitières provenant des vergers de référence.

	n		N	P	K	Ca	Mg
Abricotier	79	Moyenne CV (%)	2,74 12	0,21 15	3,38 17	2,16 21	0,36 22
Cerisier	75	Moyenne CV (%)	2,42 14	0,26 18	2,08 16	1,39 21	0,3 18
Poirier	147	Moyenne CV (%)	2,14 10	0,17 12	1,33 27	1,61 20	0,35 26
Pommier	856	Moyenne CV (%)	2,35 12	0,21 23	1,74 19	1,47 22	0,27 25

Fig. 1. Moyennes et écarts-types des teneurs de référence en azote des feuilles de diverses variétés de pommier. ▷

modalités de l'absorption et les teneurs finales en EN, sans relation directe avec la production de biomasse. Au-dessous de ce seuil, la croissance et la production de biomasse sont entravées.

Les différences de composition moyenne des quatre espèces fruitières sont présentées dans le tableau 2. Comparées à la feuille de pommier et compte tenu des coefficients de variation, la feuille de poirier contient davantage de Mg et moins de P et K; la feuille de cerisier contient davantage de P et de K, et la feuille d'abricotier davantage de N, K, Ca et Mg.

En raison des changements survenus dans les variétés cultivées au cours des années et d'un nombre variable d'échantillons prélevés chaque année, les résultats ne sont pas strictement comparables. La figure 1 montre néanmoins, à l'exemple de l'azote dans les feuilles de pommier, que la teneur en EN dépend de la variété. Ces différences sont souvent significatives, comme le montrent les résultats des analyses de variance effectuées sur les teneurs en EN de trois variétés d'abricotier (tabl. 3). Une analyse en composantes principales des teneurs en EN, effectuée sur l'ensemble des résultats de chaque espèce, ne parvient pas à former des groupes homogènes reliés aux variétés de plantes. Cet échec s'explique peut-être par l'absence d'interaction entre teneurs en EN dans la plante (contrairement à l'analyse de variance, l'analyse ACP considère l'ensemble des paramètres mesurés) ou par la relative homogénéité des échantillons de référence.

Valeurs de référence N, P, K, Ca et Mg par région et par année

Des différences ont parfois été observées entre les résultats d'échantillons de provenances différentes. Ces différences sont surtout visibles entre échantillons valaisans et vaudois, pour lesquels suffisamment de matériel a été prélevé au cours des mêmes années (tabl. 4). Des différences de teneur des feuilles en EN ont également été observées en fonction de l'année. Ces différences sont plus fréquentes pour l'azote que pour les autres nutriments. La figure 2 montre un exemple des différences an-

Fig. 2. Moyennes et écarts-types des teneurs de référence en calcium des feuilles de diverses variétés de poirier regroupées par année et par variété et provenance régionale. ▷

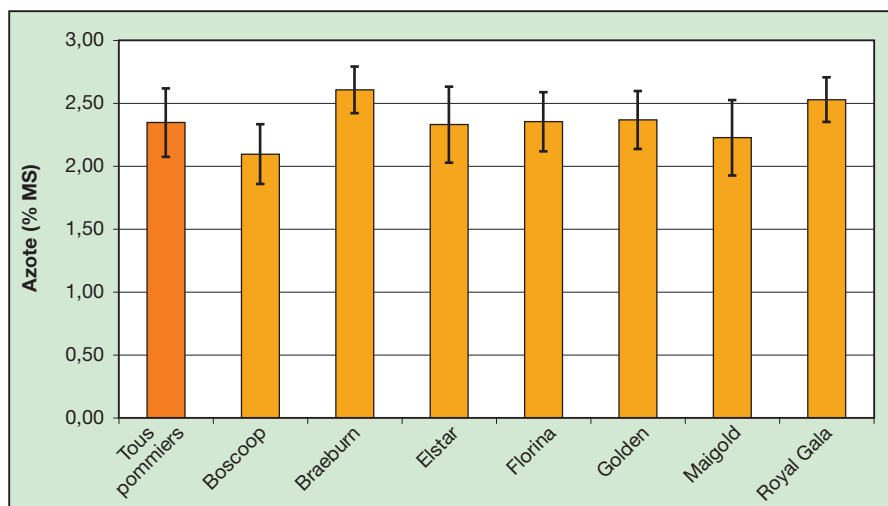


Tableau 3. Analyse de variance des teneurs en EN des feuilles de trois variétés d'abricotier (cinq vergers par variété) entre 2002 et 2006.

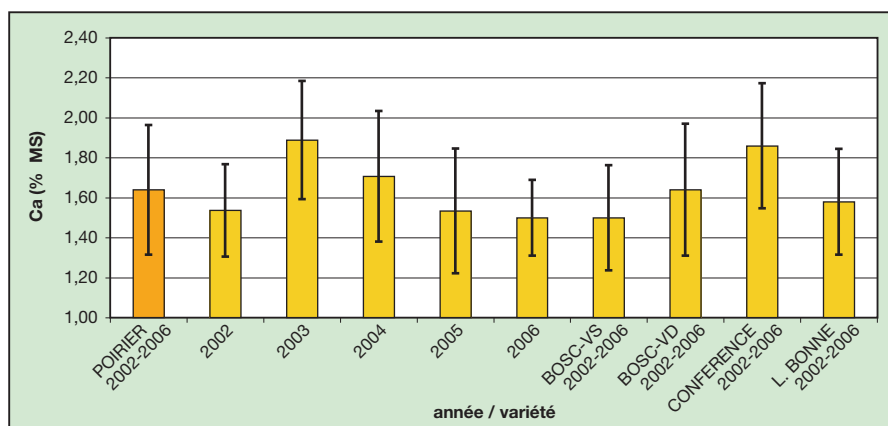
	N		P		K		Ca		Mg	
	Moy.	stat.	Moy.	stat.	Moy.	stat.	Moy.	stat.	Moy.	stat.
Bergeron	2,97	a	0,22	a	3,24	b	2,08	b	0,41	a
Goldrich	2,73	b	0,21	a b	3,2	b	2,41	a	0,39	a
Orangered	2,53	c	0,19	b	3,64	a	2,14	a b	0,29	b

Des lettres différentes dans une même colonne indiquent des différences significatives à P = 0,01.

Tableau 4. Analyse de variance des teneurs en EN des feuilles de sept variétés de pommier, compte tenu d'une distinction entre provenances valaisanne et vaudoise (cinq vergers par variété) entre 2002 et 2006.

	N		P		K		Ca		Mg	
	Moy.	stat.	Moy.	stat.	Moy.	stat.	Moy.	stat.	Moy.	stat.
Braeburn Valais	2,72	a	0,22	b c	1,62	b	1,39	b c	0,25	b
Braeburn Vaud	2,59	b	0,23	b	2,1	a	1,25	c	0,3	a
Golden Valais	2,54	b	0,2	b c	1,45	b	1,75	a	0,29	a
Golden Vaud	2,49	b	0,19	c	1,92	a	1,51	b	0,3	a
Maigold	2,32	c	0,26	a	2,06	a	1,41	b c	0,32	a
Royal Gala Valais	2,58	b	0,21	b c	1,5	b	1,72	a	0,31	a
Royal Gala Vaud	2,61	a b	0,17	c	1,91	a	1,3	c	0,3	a

Des lettres différentes dans une même colonne indiquent des différences significatives à P = 0,01.



nuelles, variétales et régionales de teneurs en calcium des feuilles de poirier. Ces différences sont souvent hautement significatives ($P = 0,01$).

Valeurs de référence d'abondance relative des éléments nutritifs entre eux

Le concept d'abondance relative d'un EN par rapport à un autre accroît fortement la capacité du diagnostic foliaire d'apprécier les conditions générales de nutrition du végétal. Ryser (1989) signale l'importance de la somme des éléments $N + P + K$ ou $K + Ca + Mg$ et de leur abondance relative, du ratio $(N+P)/K$ élevé indiquant un risque de carence en bore, du ratio Ca/P lié à l'âge physiologique réel de la feuille, et des rapports K/Ca , K/Mg et $K/(Ca+Mg)$ traduisant les synergies et antagonismes entre ces EN. La plupart de ces ratios sont également utilisés par Aichner *et al.* (2004) au Tyrol du Sud.

Choix des bornes des plages de référence

Si le choix de la moyenne ou de la médiane d'une plage de référence s'établit facilement, la fixation des bornes s'avère plus compliquée. La plage couverte par le domaine «moyenne +/- 1 écart-type» ne rassemble en théorie (distribution normale) que 66% des échantillons, ce qui n'est pas compatible avec le statut de référence attribué à l'ensemble de la population. Si le domaine «moyenne +/- 2 écarts-types» est choisi, 98% des échantillons sont rassemblés, mais le domaine devient si vaste que peu d'échantillons issus de la pratique s'en trouveront exclus et le diagnostic foliaire deviendra moins pertinent.

La solution retenue dans cette étude est la suivante: lorsqu'un résultat d'analyse est situé dans la plage de +/- 1 écart-type autour de la valeur de référence, les conditions d'alimentation de la plante sont optimales. Lorsqu'il en diffère par un écart supérieur à 2 écarts-types, un sérieux problème de nutrition est détecté et nécessite une étude approfondie de

l'abondance relative des EN entre eux. Lorsqu'il en diffère par un écart compris entre 1 et 2 écarts-types, un risque est présent, qui peut être confirmé par l'étude des abondances relative des EN. Une attention particulière doit alors être portée sur la stratégie de fertilisation pour les années suivantes.

Aspects pratiques de la fixation des plages de référence

L'inconvénient majeur de la référence annuelle dans l'expérimentation en cours est le nombre restreint de valeurs qui la génèrent. La théorie statistique requiert un nombre d'autant plus élevé d'échantillons que la dispersion des résultats est grande. Le processus d'acquisition d'EN par les plantes est encore mal connu sur le plan agronomique et physiologique, par conséquent malaisé à traduire en valeurs-seuil. D'un point de vue économique, l'établissement de références annuelles représente un investissement important par les ser-

Tableau 5. Teneurs de référence pluriannuelle des feuilles de quatre espèces fruitières, modulées selon la nécessité par la prise en compte de la variété ou de la région de production.

	Azote		Phosphore		Potassium		Calcium		Magnésium			
	Moyenne (% MS)	CV (%)	Moyenne (% MS)	CV (%)	Moyenne (% MS)	CV (%)	Moyenne (% MS)	CV (%)	Moyenne (% MS)	CV (%)		
ABRICOTIER												
Toutes variétés	2,73		0,21	15	3,37		2,22		0,35			
Bergeron	2,97	9			3,24		2,08	25	0,41	18		
Goldrish	2,73	12			3,2	19	2,41	12	0,39	18		
Orangered	2,53	9			3,64		2,14	15	0,29	11		
CERISIER												
Toutes variétés	2,42	14	0,26	19	2,08	17	1,39		0,3	17		
Burlat							1,32	23				
Kordia							1,53	19				
Summit												
POIRIER												
Toutes variétés	2,13		0,17	12	1,39		1,64		0,37			
Bosc - VD	2,1	10			1,14	21	1,63	20	0,32	13		
Bosc - VS	2,22	7			1,59	19	1,49	17	0,36	14		
Conférence	2,22	9			1,3	21	1,86	15	0,35	12		
Louise Bonne	1,98	9			1,52	20	1,57	17	0,46	13		
POMMIER												
Toutes variétés	2,4		0,21	25	1,77		1,48		0,28			
Braeburn VD	2,54	8			1,62	16	1,32	17	0,25	16		
Braeburn VS					2,13	17			0,3	14		
Golden VD					1,65	20	1,57	17	0,25	14		
Golden VS					1,86	15	1,32	14	0,3	14		
Maigold					2,23	7	1,52	18			1,64	14
Royal Gala-VD					2,57	8	1,82	15			1,39	17
Royal Gala-VS												

vices concernés, dont le coût devrait être amorti par de nombreuses analyses à but commercial. La littérature mentionne plusieurs valeurs de référence, le plus souvent obtenues dans le cadre d'essais exacts, mais rarement validées sur des régions entières de production. C'est pourquoi la fixation des plages de référence dans des buts d'application pratique tient compte à la fois des distributions statistiques des résultats et d'une approche plus pragmatique de l'ensemble des réalités agronomique, physiologique et économique.

Des références pluriannuelles ont été calculées pour chaque variété. Ces références comprennent parfois une distinction entre régions de production (tabl. 5) probablement liée à la nature des sols. Des références générales ont aussi été calculées sans tenir compte de la variété ou de la région.

Les feuilles d'abricotier, de provenance exclusivement valaisanne (trois variétés), contiennent des quantités distinctes de N, K, Ca et Mg selon la variété; de plus, des différences marquées caractérisent l'effet spécifique de l'année, de sorte que la référence pluriannuelle doit constamment être réajustée. A l'inverse, les teneurs en EN des feuilles de cerisier, de provenance exclusivement vaudoise, se sont avérées assez stables durant les quatre années d'essai; les différences entre variétés sont minimales, autorisant le calcul d'une référence unique pour N, P, K et Mg. Seul le taux de calcium de la variété Summit est plus élevé que celui des autres variétés. Enfin, les feuilles de poirier et de pommier subissent également des fluctuations de teneurs en EN liées à l'année. De plus, certaines variétés cultivées en terres valaisanne et vaudoise présentent des teneurs différentes, vraisemblablement liées à un effet combiné de sol et de micro-climat. Des teneurs de référence distinctes sont à appliquer dans ces cas.

Application pratique des valeurs de référence du diagnostic foliaire

A chaque nouvelle saison, quelques échantillons de feuilles sont prélevés et analysés pour vérifier que les nouveaux résultats ne s'écartent pas trop des valeurs de référence pluriannuelles. Le cas échéant, ces valeurs sont réajustées pour l'année en cours. Ensuite, un rapport d'analyse est généré pour chaque échantillon et ses résultats sont transcrits dans la base de données. La figure 3 présente un exemple de résultats d'analyse de feuilles de pommier Golden, avec un commentaire succinct.

Appréciation des résultats d'analyse

Echantillon V 1527
 Date réception 25.07.2006
 Sortie laboratoire 10.08.2006
 Référence ARBO Pommier Golden M9 Feuilles

Matériel végétal feuilles
 Conseiller

Eléments	Résultats	Référence	Appréciation (%)				
			très faible	faible	bonne	élevée	très élevée
N % m.s.	2.40	2.350			102		
P % m.s.	0.21	0.204			102		
K % m.s.	1.15	1.720	67				
Ca % m.s.	1.51	1.480			102		
Mg % m.s.	0.19	0.267		71			
N+P+K % m.s.	3.76	4.27	88				
N %	63.90	54.98					116
P %	5.54	4.77					116
K %	30.56	40.24	76				
K+Ca+Mg % m.s.	2.85	3.47	82				
K %	40.28	49.61	81				
Ca %	53.05	42.69					124
Mg %	6.67	7.70			87		
(N+P)/K	2.27	1.48					153
Ca/P	7.27	7.25			100		
K/Ca	0.76	1.16		65			
K/Mg	6.04	6.44			94		
K/(Ca+Mg)	0.67	0.98		69			
B ppm							
Cu ppm							
Fe ppm							
Mn ppm							
Zn ppm							
Na ppm							

Commentaires:

N : bon P : bon K : très faible
 Ca : bon Mg : faible Na :
 B : Cu : Fe :
 Mn : Zn :

N+P+K : absorption des éléments principaux : très faible
 K+Ca+Mg : absorption des cations : très faible
 (N+P)/K : risque de carence en bore par déséquilibre entre éléments : fort risque
 Ca/P : âge physiologique des feuilles au moment du prélèvement : normal
 K/Mg : bon équilibre K/Mg

Conseiller: S. Amiguet

Fig. 3. Exemple de résultat d'analyse de feuilles de pommier de variété Golden Delicious avec appréciation des teneurs et commentaires succincts.

On voit qu'une teneur particulièrement basse en potassium entraîne de nombreux risques pour la nutrition du végétal: déséquilibres N/P/K et K/Ca/Mg, rapport (N+P)/K trop élevé indicateur de risque de carence en bore et nécessité de rééquilibrer l'offre en nutriments K et Mg par une fumure appropriée.

L'expérience accumulée à ce jour dans notre région et ailleurs (Lucena, 1997, Aichner *et al.*, 1997) montre que l'intérêt du diagnostic foliaire est encore accru lorsque praticien, conseiller et

analyste apportent chacun leur contribution pour trouver l'origine des troubles constatés par l'analyse.

Discussion

L'analyse de sol classique accorde une importance limitée à l'équilibre entre les éléments fertilisants dosés; son but général consiste à moduler la fumure de manière à amener tous les EN à un niveau de disponibilité «satisfaisant».

Avec le diagnostic foliaire, les teneurs en EN sont complétées par le calcul de plusieurs ratios entre EN, qui permettent d'affiner l'interprétation (antagonismes, synergies, etc.). La prise en considération de tous les ratios possibles a été réalisée avec la méthode DRIS (*Diagnosis and Recommendation Integrated System*), récemment décrite par Walworth et Sumner (1987). DRIS calcule les teneurs de référence en EN de feuilles issues de cultures à rendements supérieurs à un seuil fixé. Elle sélectionne ensuite parmi tous les ratios possibles entre EN ceux qui permettent de distinguer le mieux entre rendements supérieurs et inférieurs, c'est-à-dire ceux qui donnent la meilleure information sur l'état d'alimentation de la plante. Enfin, elle calcule la contribution de chaque EN à l'équilibre de l'alimentation, grâce aux «index N, P...». La méthode DRIS semble donner de bons résultats en viticulture (Schaller *et al.*, 2002), en culture d'agrumes (Beverly *et al.*, 1984) et pour d'autres cultures.

L'analyse d'herbe, également interprétée avec la méthode DRIS par Bailey *et al.* (1997), a fait l'objet d'une nouvelle approche décrite par Théliier-Huché *et al.* (1999). Celle-ci est basée sur la relation entre teneur en azote et biomasse produite. Tout écart par rapport à cette relation est exprimé par l'«indice de nutrition azotée». Selon ces derniers auteurs, l'absorption des autres éléments minéraux s'ajuste à l'absorption de l'azote.

L'effet spécifique de l'année sur les teneurs des feuilles en EN est assez rarement cité dans la littérature. Nos résultats montrent cependant qu'il ne doit pas être négligé. Nous formulons l'hypothèse qu'une période de prélèvement fixée en arboriculture à la seconde moitié de juillet ne correspond pas chaque année au même stade de développement des feuilles, c'est-à-dire aux mêmes teneurs en EN. Aichner et Stimpfl (2002) ont en effet montré comment les concentrations des EN dans la biomasse de feuilles varient avec l'âge physiologique de la plante. Un prélèvement effectué dans un verger à une somme de températures prédéterminée présenterait probablement moins d'incertitude qu'un prélèvement à une date fixe et permet de définir des valeurs de référence plus robustes.

Bien que des corrélations entre rendement (quantitatif ou qualitatif) et concentration des EN dans les feuilles puissent être mises en évidence, l'interprétation d'un résultat de diagnostic foliaire reste très empirique; l'interprétation physiologique de ces phénomènes

est fortement limitée par notre manque de connaissances de base sur le fonctionnement du végétal. Toutefois, les diverses approches d'interprétation, en particulier la mise en évidence de teneurs et de ratios liés à une possible carence ou à une possible consommation de luxe, font avancer cette connaissance et sont peut-être plus prometteuses que les analyses de sol.

Conclusions

- ❑ Le diagnostic foliaire offre une bonne interprétation des conditions d'alimentation du végétal.
- ❑ L'interprétation requiert la présence de valeurs de référence constamment remises à jour et une bonne collaboration entre praticien, conseiller et analyste.
- ❑ La définition d'un verger de référence devrait à l'avenir inclure une information confirmée sur le rendement quantitatif ou qualitatif.
- ❑ Malgré ses difficultés d'application à des plantes pérennes, l'interprétation selon la méthode DRIS offre d'intéressantes perspectives, mais nécessite un travail de recherche préalable à l'application dans la pratique.

Remerciements

Les auteurs remercient chaleureusement les nombreux arboriculteurs qui ont accepté de mettre à disposition les renseignements nécessaires sur leurs vergers, ainsi que M^{me} Monique Thorimbert pour la traduction italienne du résumé.

Bibliographie

- Aichner M., Andreas O., Pasquale G. & Mantinger H., 1997. Richtwerte der Nährstoffgehalte in den Apfelblättern. *Obst- und Weinbau Südtirol* **11**, 308-309.
- Aichner M. & Stimpfl E., 2002. Seasonal patterns and interpretation of mineral nutrient concentration in apple leaves. *Acta Horticulturae* **594**, 377-382.
- Aichner M., Stimpfl E. & Drahorad W., 2004. Die Blattanalyse. In: Boden und Pflanzen Ernährung in Obst-, Wein- und Biolandbau, 2004, Versuchszentrum Laimburg, Pfatten, Italien, 105-117.
- Bailey J. S., Beattie J. A.M., Kilpatrick D. J. & Cushnahan A., 1997. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for diagnosing the nutrient status of grassland swards I & II. *Plant and soil* **197**, 127-147.
- Beverly R. B., Stark J. C., Ojala J. C. & Embleton T. W., 1984. Nutrient diagnosis of Valencia oranges by DRIS. *J. Amer. Hort. Sci.* **109**, 649-654.
- Elwali A. M. O. & Gascho G. J., 1984. Soil testing, foliar analysis and DRIS as guide for sugarcane fertilization. *Agronomy J.* **76**, 466-470.
- Lucena J. J., 1997. Methods of diagnosis of mineral nutrition of plants. A critical review. *Acta Horticulturae* **448**, 179-191.
- Ryser J.-P., 1982. Vers l'utilisation pratique du diagnostic foliaire en viticulture et en arboriculture. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **14** (1), 49-54.
- Ryser J.-P., 1989. Foliar diagnosis as a tool in achieving quality. Internat. Potash Inst., 21st colloquium, Louvain-la-Neuve (BE).
- Schaller K., Lönhertz & Michel H., 2002. Modified DRIS-system for leaf analysis to optimize fertilizer inputs. Further developments with grapevines. *Acta Horticulturae* **594**, 369-375.
- Sol-Conseil, 2001. Méthodes d'analyses de végétaux en laboratoire (document interne). CP 188, CH-1260 Nyon.
- Théliier-Huché L., Farruggia A. & Castillon P., 1999. L'analyse d'herbe. COMIFER Ed., 3, rue J.-M.-Hackin, 75116 Paris, France.
- Thomas W., 1937. Foliar diagnosis I & II. *Plant physiology* **12**, 571-599 and **14**, 75-92.
- Walworth J. L. et Sumner M. E., 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Advances in Soil Sci.* **6**, 149-188.
- Yates R. A., 1965. Calibration of soil and leaf analyses for the control of sugar-cane fertilization rates in southern Queensland. *Aust. J. Agric. Res.* **16**, 367-384.

Summary

Foliar diagnosis in the orchard: review of a 20 years study

This study presents a review of experiments made during 20 years with the foliar diagnosis method. Leaves samples of apricot, cherry, pear and apple trees have been collected at prescribed dates on healthy and productive orchards and analysed for their N, P, K, Mg and Ca-contents. Reference values were calculated according to average contents and statistical distributions of the results. In some cases, specific reference values had to be defined for some varieties, nutrient elements or years. Any other sample can then be analysed and compared to the proper reference values; differences from reference values are interpreted in terms of nutrient availability, equilibrium in nutrient uptake and tree vigour. Results obtained so far confirm the interest of the foliar diagnosis approach; this method might be further improved by a more precise definition of sampling time and by a more elaborate evaluation of nutrient contents and ratios, as realised in the DRIS model.

Key words: foliar diagnosis, leaf analysis, fertilizer recommendation.

Zusammenfassung

Die Blattanalyse im Obstbau: Bilanz eines 20 Jahren Studiums

Die Methode der Blattanalyse (diagnostic foliaire) im Obstbau wird anhand der bisher erhaltenen Analysenresultate bewertet. Proben aus Aprikosen-, Kirschen-, Birnen- und Apfelbaumblättern werden an einem bestimmten Zeitpunkt in einem Netz von gesunden Obstgärten entnommen. Aus ihren N, P, K, Mg und Ca-Gehalten werden Referenzwerte, sowie verteilungsabhängige Toleranzbereiche kalkuliert. Je nach Spezies und sogar Nährelement sind manchmal sorten- und jahresspezifische Referenzwerte nötig. Jede unbekannte Blattprobe kann nach diesem Vorgehen analysiert und interpretiert werden. Die Interpretation schliesst die reelle Verfügbarkeit der Nährelemente, das Gleichgewicht zwischen jenen sowie die Wachstumsbedingungen der Bäume ein. Die Methode hat sich als gut erwiesen, könnte aber noch durch eine robustere Auswahl des Entnahmezeitpunktes und eine Vertiefung der statistischen Auswertung (nach DRIS Model) verbessert werden.

Riassunto

La diagnosi fogliare in arboricoltura: bilancio di 20 anni di studio

Questa pubblicazione evalua i risultati ottenuti per mezzo dell'applicazione della diagnosi fogliare in arboricoltura durante 20 anni. Dei campioni di referenza di foglie di albicocchi, di ciliegi, di peri e di meli sono prelevati in frutteti selezionati, ad una data fissata; il confronto dei loro tenori in N, P, K, Mg e Ca permette di definire i tenori di referenza e delle areas di tolleranza tenendo conto dei parametri statistici di distribuzione. A secondo della specie vegetale e dell'elemento nutritivo, è talvolta necessario distinguere delle referenze per varietà o anche delle referenze annuali. I risultati di analisi di campioni qualunque sono poi paragonati ai valori di referenza e interpretati in termini di offerta in elementi nutritivi, di equilibrio alimentare e di vigore del vegetale. I risultati ottenuti confermano l'interesse del metodo, che potrebbe ancora essere migliorato con una migliore definizione del momento di prelevamento e con un'integrazione più spinta di tutte le relazioni tra i parametri analizzati, come lo dimostra l'approccio secondo il metodo DRIS.

LIXION

LE SÉCATEUR ÉLECTRONIQUE PELLENC NOUVELLE GÉNÉRATION
LA HAUTE TECHNOLOGIE AU SERVICE DE LA TAILLE

- AUTONOMIE JUSQU'À 3 JOURS SANS RECHARGE
- PUISSANCE, CAPACITÉ DE COUPE ET PROGRESSIVITÉ ACCRUES
- POIDS RÉDUIT
- MODÈLE POUR GAUCHER



DISTRIBUTION - VENTE - SERVICE

CHAPPOT SA

1906 CHARRAT

Tél. 027 746 13 33

Fax 027 746 33 69

E-mail: etchapsa@omedia.ch

www.chappotmachines.com

Bouchons

Capsules de surbouchage

Capsules à vis · Bouchons couronne

Bondes silicone · Barriques · Fûts de chêne

Supports porte-barriques · Tire-bouchons *Pulltap's*

LIÈGE RIBAS S.A.

8-10, rue Pré-Bouvier · Z.I. Satigny · 1217 Meyrin

Tél. 022 980 91 25 · Fax 022 980 91 27

e-mail: ribas@bouchons.ch

www.bouchons.ch

Sélection
et production
de clones,
greffons
et plants
pour la
viticulture



PÉPINIÈRES VITICOLES CLAUDE & JACQUES LAPALUD

PLANTATION À LA MACHINE

1163 ÉTOY

Atelier: tél. 021 808 76 91 - fax 021 808 78 40

Privé: tél. 021 807 42 11