

Bilan minéral du mandarinier ' Wilking '

Influence de la production et de l'état végétatif de l'arbre sur sa composition minérale

par **J. MARCHAL** et **J.-J. LACŒUILHE**

Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer.

BILAN MINÉRAL DU MANDARINIER ' WILKING '

INFLUENCE DE LA PRODUCTION ET DE L'ÉTAT VÉGÉTATIF DE L'ARBRE SUR SA COMPOSITION MINÉRALE

par J. MARCHAL et J. J. LACŒUILHE (I. F. A. C.)

Fruits, vol. 24, n° 6, juin 1969, p. 299 à 318.

RÉSUMÉ. — Un échantillonnage total a été pratiqué sur des mandariniers ' Wilking ' âgés de 9 ans, afin de comparer des arbres ayant donné une récolte importante à d'autres ayant très peu produit ou présentant des brûlures de feuilles.

Cette étude a permis de mettre au point une méthode d'échantillonnage et d'établir les bilans détaillés de la matière sèche et fraîche et de 12 éléments (N, P, K, Ca, Mg, Na, Ni, B, Cu, Fe, Mn, Zn).

On met ainsi en évidence un appauvrissement de toutes les parties de l'arbre venant de produire, principalement en N et P mais aussi en la plupart des autres éléments. Les arbres avec brûlures ou sans fruits donnent des résultats très voisins. Sur un même arbre, les parties brûlées ont des caractères d'organes plus jeunes que les mêmes parties non atteintes. L'alternance et la brûlure ne peuvent être attribuées directement à l'alimentation minérale.

Il apparaît bien que les feuilles sont les organes de réserve les plus importants en éléments majeurs (N, P, Ca, K, Mg, Na) et en bore mais que les métaux (Al, Cu, Fe, Mn, Zn) s'accumulent dans les racines.

Les fruits constituent une exportation très importante de K.

La variété de mandarinier ' Wilking ' a une très nette tendance à alterner ; au sein d'un même carré cette alternance est individuelle : une même année des arbres voisins sont les uns porteurs de fruits et les autres non. Dans le cas du carré ' Wilking ' de la Station de Recherches Agrumicoles (S. R. A.) installé sur sol d'alluvions anciennes, certains arbres présentent des brûlures de feuilles, de même caractère que celles décrites en Corse pour les clémentiniers ; ces symptômes également sont individuels et lorsqu'il y a brûlure la récolte est insignifiante.

Par les essais sol-plante sur bananiers (1), on a vu comment la méthode des bilans minéraux complets élaborée par P. MARTIN-PRÉVEL pouvait fournir des enseignements beaucoup plus riches que ceux de l'analyse foliaire conventionnelle dans l'étude de phénomènes complexes où la nutrition minérale s'imbrique avec d'autres processus biologiques. Un projet de ce type étant à l'étude sur clémentine à la S. R. A., la transposition à une culture arbustive implique la notion de longue durée et pose des problèmes particuliers d'échantillonnage. La S. R. A. nous a suggéré de mettre à profit l'arrachage d'un carré de ' Wilking ' pour en roder la technique.

Il a paru dès lors intéressant de comparer des arbres présentant l'un ou l'autre des caractères « alternance » et « brûlures » à des arbres ayant donné une forte récolte, afin d'étudier l'influence éventuelle de la production et de l'état végétatif sur la composition minérale. Cette comparaison est basée sur un bilan complet des arbres choisis, étude qui permet dans le même temps d'obtenir des données sur la composition minérale totale de l'arbre et de mettre au point les méthodes d'échantillonnages totaux d'arbres de 9 ans.

MÉTHODES D'ÉCHANTILLONNAGE

A. MATÉRIEL. PÉRIODE D'ÉCHANTILLONNAGE.

L'essai a porté sur 7 mandariniers 'Wilking' (numérotés de W 1 à W 7) d'un même carré (Carré C 6), âgés de 9 ans, choisis en fonction de la circonférence du tronc au-dessus du point de greffe (dans les 7 cas très voisine de 30 cm) et de leur port aussi semblable que possible. Ces 7 arbres sont répartis en 3 groupes :

- 2 ayant produit en 1967 : W 3-W 6
- 2 n'ayant pas produit en 1967 : W 2-W 5
- 3 atteints de brûlures en 1967 et n'ayant pas produit : W 1-W 4-W 7

(l'arbre W 7 se distingue des autres, les brûlures ayant été beaucoup plus intenses).

Le sol du carré C 6 est formé d'alluvions anciennes à pH acide.

Fumure.

En 1967 chaque arbre a reçu 1,570 kg de 15-6-8 par 3 fois (mars, mai, juillet). En 1966 aux mêmes dates 1,350 kg de 15-6-8. En 1964 chaque arbre a reçu en mars 1,300 kg de 15-15-15 et en mai et juillet 0,450 kg d'ammonitrate à 33,5 p. cent.

Une couverture du sol est pratiquée par semis de graines en septembre (saison 1964-65 : moutarde ; 1965-66 : vesce et avoine ; 1966-67 : radis chinois) et enfouissage en mars.

L'échantillonnage a été réalisé début avril 1968, c'est-à-dire juste au démarrage de la végétation ; les bourgeons, quand ils étaient éclos, n'avaient pas encore donné de pousses. En janvier-février 1968 une partie aliquote de la récolte des arbres porteurs avait été prélevée pour analyse et divisée en 3 échantillons : écorce, pulpe, pépins. Les arbres dits non porteurs avaient donné malgré tout 2 000 à 2 800 g de fruits et les arbres brûlés 150 à 600 g de fruits, mais malheureusement ceux-ci n'ont pas été échantillonnés.

B. ÉCHANTILLONNAGE TOTAL AU SENS STRICT.

1) Parties aériennes.

Afin de déterminer si l'échantillonnage de quelques branches était bien représentatif (2) et suffisait pour établir un bilan minéral, nous avons réalisé sur les parties aériennes d'un arbre atteint de brûlures un

échantillonnage total au sens strict ; méthode d'échantillonnage total que CAMERON (3) a employée sur des 'Valencia'. C'est-à-dire que nous avons prélevé systématiquement *par exemple tous* les bourgeons de l'arbre (ou toutes les feuilles non brûlées en 1967...) apparus sur les rameaux n'ayant pas porté de feuilles brûlées en 1967. Ces bourgeons constituent une classe d'échantillon qui est pesée à l'état frais et dont une partie aliquote est séchée à 60, 70° C pour déterminer la matière sèche et constituer l'échantillon d'analyse minérale.

Choix des échantillons :

Pour cet arbre qui avait présenté des brûlures en 1967 nous avons constitué 14 classes d'échantillons d'organes aériens. Le tronc est bien limité : les gros rameaux partent pratiquement tous de la même zone. Nous n'avons séparé l'écorce du bois que pour le tronc (pour des raisons de personnel et de temps).

Les rameaux ayant poussé en 1967 sont aisément reconnaissables : en général ils ne sont pas ou peu lignifiés et les tailles et formes de feuilles (petites au printemps, plus importantes ensuite) permettent la distinction. Dans le cas d'arbres brûlés nous avons constitué deux lots de rameaux 1967 : l'un de rameaux ayant porté uniquement des feuilles saines, l'autre de rameaux ayant porté au moins partiellement des feuilles brûlées, qui à cette saison sont tombées pour la plupart, le rameau est plus ou moins dénudé.

Chacun de ces deux lots est à son tour subdivisé en deux classes d'échantillons : rameaux plus longs et rameaux plus courts que 12 cm. Cette limite de 12 cm est plus ou moins arbitraire ; cependant nous avons remarqué que très souvent des rameaux n'ayant jamais moins de 12 à 15 cm et atteignant parfois 40 cm étaient plus chlorophylliens, plus aqueux que les autres, avec une section anguleuse, et parfois épineux. D'autre part, de très nombreuses pousses terminales ne dépassaient pas 10 à 12 cm.

Nous nous sommes contentés de distinguer les feuilles apparues en 1967 des feuilles plus anciennes. Ces feuilles 1967 sont également divisées en 2 échantillons ainsi que les bourgeons : feuilles (ou bourgeons) de rameaux ne portant aucune feuille brûlée, et feuilles (ou bourgeons) de *rameaux portant en partie des feuilles brûlées*. (Dans la suite du texte, ces feuilles et bourgeons seront appelés « brûlés » pour plus de commo-



↑ PHOTO 1. — Cuvette inondée au pied du mandarinier 'Wilking' pour détremper le sol avant arrachage.

PHOTOS 2, 3 et 4. — Arrachage des racines : différentes étapes.

↓ PHOTO 5. — Aspect du système racinaire d'un des mandariniers 'Wilking'.



2



3



4

dité, mais en fait la plupart ne portaient pas de brûlures : les bourgeons a fortiori et les feuilles brûlées étant tombés pour la plupart.)

Les rameaux et branches antérieurs à 1967 ont constitué 3 échantillons en fonctions de leur diamètre : inférieur à 5 mm, compris entre 5 et 15 mm, supérieur à 15 mm.

Dans le cas des parties lignifiées de l'arbre (tronc, branches, pivot, grosses racines) l'échantillon pour estimer la matière sèche et pour l'analyse minérale est prélevée en sciant ces organes tous les 5 cm et en recueillant la sciure.

2) Parties souterraines.

Il était difficile d'envisager un échantillonnage total des racines. En effet le sol de ce carré de Wilking est extrêmement dur et compact, les blocs de terre ne se délitent pratiquement pas à l'eau ; pour recueillir les petites racines il a été nécessaire de pratiquer un « émiettage » de la terre à la main. Aussi une tranchée, centrée sur le tronc, a été creusée jusqu'à 0,60 m de profondeur et à 2 m de part et d'autre du tronc, zones en dehors desquelles on ne trouvait plus de racines. Cette tranchée avait 0,60 m de large, sa surface de $0,60 \times 2$ m représente approximativement $1/5$ de la surface du cercle de 2 m de rayon dans lequel toutes les racines se trouvaient théoriquement. Il semble cependant difficile de multiplier par 5 les masses de racines recueillies : en fonction des résultats obtenus avec la technique décrite plus bas ce facteur de correction 5 semble acceptable pour le chevelu seulement. En effet, surtout dans le cas des grosses racines les valeurs sont surestimées ; ces grosses racines sont à coup sûr les plus nombreuses près du pivot et ont donc été prélevées en plus grande proportion dans la tranchée de 0,60 m de large. D'après les résultats des 6 autres arbres nous avons multiplié par $5/2$ le poids de racines moyennes recueillies et par $5/3$ celui des grosses racines.

Le système racinaire présente un pivot bien distinct qui constitue un échantillon. Les autres racines ont été séparées en 3 lots d'après leur section : diamètre supérieur à 15 mm, inférieur à 15 mm, et chevelu.

3) Conclusion.

Cet échantillonnage qui est total pour la partie aérienne de l'arbre est très rigoureux, mais difficilement applicable car très long : à 7 personnes, 2,5 journées ont été nécessaires pour que chaque échantillon

(18 au total) soit prêt à sécher. Alors que, pour les 6 autres arbres échantillonnés, suivant la méthode décrite ci-dessous, il a fallu au total 4,5 journées à 6 personnes et comme nous le verrons plus loin les résultats des analyses sont comparables.

C. ÉCHANTILLONNAGE DE BRANCHES REPRÉSENTATIVES.

Il a été effectué sur six arbres (2 pour chaque catégorie) ; le choix des classes d'échantillons est bien entendu le même que pour le cas précédent.

1) Partie aérienne.

Pour chaque arbre deux branches diamétralement opposées à leur insertion sur le tronc ont été prélevées toujours suivant la même orientation (NW-SE) l'une à l'extérieur du bouquet (SE) l'autre à l'intérieur du bouquet (NW). Elles sont échantillonnées totalement et ensemble, les mêmes classes d'échantillons que pour W1 étant constituées, ceux-ci sont pesés, une partie aliquote est conservée pour détermination de la matière sèche et pour analyse.

Les autres branches sont séparées du tronc et pesées pour estimer ensuite la masse de chaque classe d'échantillon dans l'arbre sur la base des rapports trouvés pour les deux branches étudiées.

Le tronc a été échantillonné comme pour l'arbre W1 (écorce séparée du bois).

2) Racines.

Devant les difficultés rencontrées précédemment — aussi bien pour le travail que pour l'estimation de la masse réelle — une autre technique a été employée qui permet pratiquement un échantillonnage total mais demande la mise en œuvre de moyens mécaniques.

Toutes les branches étant séparées du tronc, celui-ci est laissé en place. Une cuvette de 5×5 m est établie autour de l'arbre, cette cuvette est remplie d'eau en permanence pendant 2 jours afin de détremper le sol aussi profondément que possible. Puis après 2 jours une pelleteuse mécanique extrait d'une seule pièce l'ensemble tronc-racines. L'arrachage est effectué progressivement en s'aidant d'un jet d'eau suffisamment puissant. Le résultat semble correct ; à l'examen peu de petites racines paraissent s'être brisées ; mais il faut noter qu'à cette époque de l'année il y a peu de jeunes racines non lignifiées.

OBSERVATIONS MORPHOLOGIQUES ET ANATOMIQUES

Les symptômes de brûlures précédemment décrits sur clémentiniers (4-5) ont sur les Wilking les mêmes caractères. Description que nous résumons : ce sont les rameaux non fructifères terminaux qui sont atteints, les feuilles ont un port érigé, elles tendent à replier leurs deux demi-limbes vers la face supérieure ; d'abord bronzées, elles jaunissent à leur extrémité puis sur les bords, le jaunissement est suivi parallèlement de nécroses brunes.

A la période d'échantillonnage (avril) de nombreux limbes atteints étaient tombés, le pétiole subsistait dans certains cas, mais se détachait du rameau sans difficulté.

Ce symptôme n'apparaît que dans le courant de l'été après la nouaison. Il n'est que le stade ultime d'un dérèglement de la plante puisque, comme nous l'avons signalé, *la brûlure est toujours accompagnée d'une faible récolte et celle-ci est déjà déterminée à l'apparition du symptôme*. Les arbres atteints sont répartis au hasard ; il semble qu'il s'agisse de réactions individuelles.

Poids des bourgeons frais sur chaque arbre
(début avril 1968).

	NUMÉRO DE L'ARBRE	POIDS DE BOURGEONS (g)	POUR-CENT DE LA MASSE TOTALE FRAICHE DE L'ARBRE
Arbres sans fruits et avec brûlures en 1967.	W 1	442	0,83
	W 4	I 201	2,15
	W 7	578	1,50
Arbres sans fruits mais non brûlés en 1967.	W 2	903	1,54
	W 5	I 236	2,24
Arbres avec fruits en 1967.	W 3	# 0	0
	W 6	150	0,28

Au moment de l'échantillonnage il est remarquable de noter que les arbres brûlés ou sans fruits étaient au stade végétatif le plus avancé si l'on considère le poids

des bourgeons échantillonnés, ces bourgeons peu abondants sont apparus surtout sur les pousses terminales les plus longues. Les arbres porteurs de fruits l'année précédente sont les plus en retard.

Les arbres échantillonnés n'ayant pas été repérés les années précédentes, il est difficile de connaître leurs antécédents de production ; cependant nous avons fait une remarque qui peut nous renseigner sur ce sujet. Le tronc en coupe transversale montre des zones d'accroissement très nettes. Dans le cas des 2 arbres ayant produit nous avons noté qu'en 1967 ces zones étaient particulièrement réduites et que par contre en 1966 elles étaient développées surtout pour l'arbre W 3.

L'arbre W 2 (sans fruits et sans brûlures) montrait des zones particulièrement importantes pour les années 1963, 1965, 1967, semblant parallèles à l'alternance probable.

Le cas des arbres brûlés est typique : l'arbre W 4 montre un développement des zones d'accroissement du tronc important en 1966 et 1967, faible en 1965 qui aurait donc été une année de production, 1966 étant probablement une année « sans fruits » peut-être « avec brûlures ». Le W 7 montre une zone étroite en 1966, année de production probable, zone large en 1965, saisonnement probable, et large en 1967, année de brûlures donc sans fruits.

Les années de production, l'arbre utiliserait pratiquement tous les éléments disponibles dans le sol et la plante à la formation des fruits, le tronc ne jouant alors en quelque sorte que le rôle d'intermédiaire, de lieu de transit. Comme nous le verrons plus loin la masse importante des fruits pouvant être produite par un arbre — jusqu'à 90 kg de fruits pour un arbre pesant au total 50 kg — explique aussi ce faible accroissement de la charpente.

Le système racinaire, que nous avons pu observer pratiquement complet sur 6 arbres, a un développement très variable — chevelu, nombre de racines principales plus ou moins importants — et individuel. Dans tous les cas le pivot est bien développé, atteignant environ 40 cm de long et pesant 3 à 4 kg, pour des arbres de 50 à 60 kg au total. Les racines partent de ce pivot à 2 niveaux : à 10 cm en-dessous de la surface du sol — zone où elles sont les plus développées — et à l'extrémité inférieure du pivot. Entre ces 2 parties le pivot est absolument nu.

Récolte des fruits : cette récolte s'est effectuée en janvier-février 1968. Elle sera incluse dans le bilan afin d'estimer la matière exportée. Entre la récolte et l'échantillonnage des arbres, la végétation n'ayant pas évolué, les risques d'erreurs dans le bilan sont donc limités. Seuls les fruits des arbres à forte récolte ont été échantillonnés pour analyse. Remarquons que les arbres brûlés ont eu une récolte encore plus faible que les arbres dits « sans fruits ».

Récolte de janvier-février 1968.

	ARBRES A BRÛLURES			ARBRES SANS FRUITS		ARBRES AVEC FRUITS	
	W 1	W 4	W 7	W 2	W 5	W 3	W 6
Récolte (en kg)	0,300	0,150	0,600	2,800	2,000	89,300	65,300

RÉSULTATS

Les résultats du bilan pondéral et de celui des éléments figurent dans les tableaux n°s 1 à 21. Ils sont donnés arbre par arbre, une moyenne est difficile à calculer sur seulement 2 résultats qui diffèrent souvent. Les pourcentages sont exprimés en prenant pour base 100 le poids total de la partie végétative de l'arbre sans compter les fruits. Le pourcentage représenté par les fruits est calculé à partir de cette même base si bien que le total, fruits compris, des arbres W 3 et W 6 dépasse largement 100 %. Les résultats sont exprimés en graphiques pluri-rectangulaires pour N, P, K, Ca, Mg. Trois arbres ont été représentés ainsi à titre d'exemple : un de chaque type : W 2 arbre court sans fruits, sans brûlures ; W 3 avec fruits ; W 4 avec brûlures.

L'arbre W 7 se distingue des 6 autres : poids total beaucoup plus faible, teneurs et masses d'éléments différentes très souvent. Cet arbre a subi des brûlures très intenses en 1967 mais déjà auparavant il semble avoir été en retard sur les autres (poids des racines et grosses branches plus faibles, circonférence du tronc la plus petite). Cependant les proportions entre différents organes — excepté les organes brûlés — sont de même ordre que celles des autres arbres en matière fraîche et sèche, par contre, la comparaison est difficile pour les éléments minéraux. Dans la suite nous ne signalerons que les résultats les plus caractéristiques de cet arbre.

BILAN PONDÉRAL

A. MATIÈRE FRAICHE (tableau n° 1).

Le poids total des 6 arbres (n° W 1 à W 6) est voisin, compris entre 52,8 et 58,4 kg, mais la répartition entre organes n'est pas la même et traduit bien leurs états différents à une époque donnée.

Si nous considérons chaque constituant du système racinaire nous vérifions qu'en masse ce sont les grosses racines, puis le pivot, qui ont le plus d'importance. Le chevelu surtout et les grosses racines ont un développement moindre chez les 2 arbres avec fruits que chez les 4 autres ; cependant leurs besoins sont plus intenses et on pouvait penser que le chevelu aurait pris une plus grande extension au cours de l'année 1967. En moyenne ce sont les arbres brûlés qui ont le système racinaire le plus développé.

Moyenne : W 1 — W 4	25,8 %	} de la masse fraîche des arbres.
Moyenne : W 2 — W 5	24,8 %	
Moyenne : W 3 — W 6	22,0 %	

Les racines de l'arbre n° 7 ont des caractères comparables à ceux des arbres à fruits mais plus accentués, (grosses racines et chevelu moins important). Il est possible que cet arbre ait donné en 1966 une forte production qui l'aurait épuisé et l'effet d'une brûlure intense a accentué ce retard.

La répartition des organes aériens antérieurs à 1967, feuilles exclues, est variable avec chaque arbre ; pour les sujets n'ayant pas produit ils représentent au total environ 42 % de la masse de l'arbre. Les deux arbres avec fruits sont très différents l'un de l'autre : l'arbre W 3, à forte récolte, présente des organes lignifiés très

développés (28,6 kg soit 53 % de la masse de l'arbre contre 19,7 kg et 36,5 % pour l'arbre W 6). Mais les vieilles feuilles sont plus importantes sur l'arbre W 6 (4,4 kg soit 8,2 % pour 2,8 kg et 5,1 % sur l'arbre W 3), ainsi d'ailleurs que les productions végétatives de 1967 (17,3 kg et 32,3 % sur l'arbre W 6 et 11,2 kg et 20,7 % sur l'arbre W 3) probablement en liaison avec la production plus faible. Au total, le poids des organes aériens est très proche : 42,6 et 41,5 kg avec des distributions différentes.

Nous avons signalé que lorsqu'il y avait brûlure, les feuilles atteintes tombaient dans les mois qui suivaient, la plus ou moins grande importance des vieilles feuilles pourrait traduire les états de l'arbre au cours des dernières années. Les arbres à fruits sont dans les 2 cas les plus riches en vieilles feuilles (ainsi que l'arbre W 7), ce qui fait penser qu'au moins en 1966 ces arbres n'ont pas été atteints de brûlures.

L'arbre W 6 porteur d'une récolte de 65 kg a produit en 1967 plus de matière fraîche que les 4 arbres non porteurs, mais l'arbre W 3 avec une récolte de 89 kg en a moins constitué. Mais en fait nous verrons plus loin que le total de la matière sèche élaborée, fruits compris, par ces 2 arbres est très voisin. Tous les matériaux disponibles ont été utilisés par ces 2 arbres mais différemment. Par contre, les 4 autres arbres avaient des disponibilités pratiquement identiques mais qu'ils n'ont pas utilisées, les brûlures pouvant en être la cause dans 2 cas mais pour les 2 autres arbres apparemment il n'y avait pas d'obstacle. WALLACE (6) a montré que malgré l'alternance, les arbres de 'Washington Navel' produisaient la même quantité de matière sèche.

L'intensité de la pousse 1967 sur les quatre arbres sans fruits avec ou sans brûlures est de même ordre et sa masse représente environ 27 % de celle de l'arbre, avec des répartitions différentes. Or la masse des feuilles brûlées est sousestimée du fait de leur chute plus ou moins importante (rappelons que nous avons défini comme feuilles brûlées toutes feuilles, même non atteintes, apparues sur tout rameau portant ces symptômes) si bien qu'il est probable que la production de feuilles est plus élevée et que la pousse 1967 doit être la plus intense sur ces arbres. A elles seules, dans tous les cas, les feuilles 1967 représentent les 4/5 de la production de l'année.

Le rapport des rameaux longs (plus grands que 12 cm) à brûlures aux rameaux longs sains est plus élevé que le rapport des rameaux courts à brûlures aux rameaux courts sains : ce qui indique une plus grande sensibilité aux brûlures des rameaux longs. Ces rameaux longs sont en général plus aqueux et plus chlorophylliens que les courts : ils ont donc des caractères

juvéniles plus accentués ; l'analyse des éléments des feuilles brûlées fait régulièrement apparaître ce caractère juvénile.

La forte intensité de la brûlure de l'arbre W 7 apparaît nettement à l'examen des masses fraîches produites en 1967 : les 4/5 des rameaux longs et les 3/5 des rameaux courts sont atteints.

Nous constatons que la proportion de bourgeons apparus sur les rameaux à brûlure est plus faible que celle des bourgeons apparus sur les rameaux non brûlés. La brûlure retarderait, ou même réduirait, le débouillage des bourgeons.

CAMERON (7) a trouvé pour des 'Valencia' de 9 ans les proportions moyennes de matières fraîches suivantes :

- feuilles : 25,2 p. cent,
- rameaux \varnothing 0,75 cm : 9,4 p. cent,
- tronc + branches : 44,5 p. cent,
- grosses racines $\left. \begin{array}{l} \varnothing \text{ } 0,4 \text{ cm} \\ \varnothing \text{ } 0,4 \text{ cm} \end{array} \right\} \begin{array}{l} 19,7 \\ 1,2 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \varnothing \text{ } 0,4 \text{ cm} \\ \varnothing \text{ } 0,4 \text{ cm} \end{array}} \right\} 20,9 \text{ p. cent}$
- petites racines

Si nous considérons que les rameaux 1967 des 'Wilking' correspondent sensiblement aux rameaux à diamètre inférieur à 0,75 cm de 'Valencia', nous voyons que ces résultats sont très comparables à ceux des 'Wilking' sans fruit ou avec brûlures — qui ont cependant un système racinaire plus important. La masse foliaire représente régulièrement près du 1/4 de la masse totale de l'arbre.

Par contre, sur pomélo de semis âgé de 19 ans, BARNETTE (8) fait apparaître des résultats très différents : les feuilles ne représentent plus que 10 p. cent de la masse fraîche de l'arbre et (5,5 p. cent de la masse sèche), la proportion tronc + branches est voisine (environ 45 p. cent) mais ce sont les racines qui sont beaucoup plus développées (près de 38 p. cent de la masse fraîche) les arbres étant plus âgés elles explorent un plus grand volume de sol ; par ailleurs les proportions et les teneurs en éléments minéraux sont également très différentes.

B. MATIÈRE SÈCHE (tableaux 2, 3).

Si les autres parties lignifiées des arbres ont des teneurs très variables, les racines, le pivot excepté, présentent des caractères intéressants. *Les teneurs en matière sèche (tableau 3) du chevelu tendent à être les plus fortes pour les arbres avec fruits, mais leurs autres racines sont nettement plus pauvres ainsi que les vieilles feuilles, ce qui pourrait indiquer une plus grande perméabilité à l'eau et probablement des besoins en eau plus grands.*

Les organes les moins riches en eau sont bien entendu les plus vieux et les plus lignifiés : le minimum se situe au niveau du tronc ou des gros rameaux, plus les organes sont terminaux plus ils sont riches en eau (chevelu, feuilles, bourgeons).

La pousse de 1967 présente des variations intéressantes pour un même arbre brûlé, les organes brûlés sont toujours moins riches en matière sèche que les non brûlés du même arbre, mais ceux-ci se trouvent toujours à un niveau plus élevé que les mêmes organes d'arbres avec ou sans fruits ; il en est de même pour l'écorce du tronc et les vieilles feuilles. Les rameaux

Teneur moyenne en matière sèche des pousses 1967 et vieilles feuilles.

POUSSES 1967	ARBRES A FRUITS	ARBRES SANS FRUITS	ARBRES AVEC BRÛLURES
	moyenne W 3-W 6 (%)	moyenne W 2-W 5 (%)	moyenne W 1-W 4- W 7 (%)
Rameaux L > 12 cm :			
non brûlés.....	53,7	51,3	54,9
brûlés.....			51,0
Rameaux L < 12 cm :			
non brûlés.....	54,6	54,0	57,2
brûlés.....			54,3
Feuilles :			
non brûlées.....	46,7	50,1	50,7
brûlées.....			47,7
Vieilles feuilles.....	44,2	48,9	51,6

courts sont plus riches en matière sèche que les longs, la différence est la moins nette dans le cas des arbres avec fruits.

Si nous comparons les deux arbres avec fruits nous constatons que l'arbre W 3 ayant le plus produit, est toujours le moins riche en matière sèche, y compris les fruits (une seule exception, les rameaux dont le diamètre est compris entre 5 et 15 mm). De ce fait la production totale en matière sèche de ces deux arbres en 1967, fruits compris, est voisine : 19,2 kg pour l'arbre 3, 21 kg pour l'arbre 6. Fruits non compris, ces deux arbres ont un poids total de matière sèche plus faible que ceux des 4 autres arbres, qui en moyenne 2 à 2 sont très voisins. La part des organes 1967 est naturellement moins importante en poids sec qu'en poids frais.

Le total de la matière sèche des productions antérieures à 1967 des 6 arbres est très comparables, donc en début de la saison ces 6 arbres se trouvaient dans un état très voisin. Pourquoi certains ont-ils produit et d'autres pas ? Nous avons constaté que les arbres avec fruits avaient des teneurs en eau plus élevées que les autres ; cette perméabilité des cellules est sous la dépendance de systèmes hormonaux. *On peut donc penser que l'alternance et même la brûlure sont également contrôlées, au moins en partie, par des systèmes hormonaux dont nous ne connaissons pas le mécanisme.* Des essais d'apports d'engrais plus intenses n'ont pas éliminé l'alternance ; pour les brûlures des apports d'amendements ont un effet favorable mais la cause de la brûlure elle-même n'est pas connue.

BILAN MINÉRAL

A. ÉLÉMENTS MAJEURS N, P, K, Ca, Mg, Na.

À côté des 5 éléments majeurs classiques N, P, K, Ca, Mg, nous incluons le Na qui comme nous le verrons a une part importante dans le bilan.

Régulièrement les teneurs de ces éléments sont les plus faibles dans le tronc, parfois les gros rameaux, de chacun des arbres. Ces teneurs vont en diminuant du chevelu au tronc et en augmentant du tronc aux feuilles. Nous voyons ainsi le rôle de chaque partie de l'arbre ; le tronc et les rameaux sont des lieux de transit et du fait de leur masse importante, en dépit de leurs faibles teneurs en éléments, ils constituent, les rameaux surtout, des organes de réserves importants. Le chevelu prélève les éléments dans le sol, sa faible

quantité de matière sèche réduit ses réserves, ses teneurs traduisent l'état d'activité de l'arbre au moment de l'échantillonnage : en effet, en avril 1968, l'arbre W 3 n'avait pratiquement pas de bourgeons éclos, or, tous les éléments sont à des niveaux plus faibles dans son chevelu que dans celui des 6 autres arbres. Les feuilles sont le lieu essentiel de stockage et d'activité, photosynthèse, respiration..., nous y trouvons les niveaux les plus élevés pour chaque élément.

1) Bilan de l'azote (tableaux nos 4, 5).

Les teneurs en azote les deux arbres avec fruits, W 3 et W 6, sont régulièrement plus faibles que dans les mêmes organes des autres arbres, excepté les vieilles

feuilles ; ce sont surtout le bois, l'écorce, les rameaux anciens ou de 1967 qui font apparaître les plus gros écarts. L'arbre W 3, le plus producteur, a tendance à être aux niveaux les plus faibles avec des fruits plus riches. Ces valeurs indiquent que pour fournir l'azote nécessaire aux fruits l'arbre a non seulement utilisé celui qui était disponible dans le sol, mais aussi celui en réserve dans la plante (vieilles feuilles exceptées).

Ces résultats indiquent bien que seules les feuilles développées la même année que les fruits interviennent pour leur nutrition minérale. Ce résultat est important pour la pratique du diagnostic foliaire : *seules les feuilles de l'année doivent être échantillonnées.*

Ce caractère se retrouve également pour le phosphore et le potassium, d'où développement réduit des zones d'accroissement du bois les années de production. Un déficit de N, P, K existe dans les arbres venant de produire : en effet les bourgeons, organes jeunes, donc riches en ces éléments, ont des niveaux nettement plus faibles chez l'arbre W 6 que chez les 5 autres, et l'arbre W 6 aurait saisonné à coup sûr en 1968. Ces résultats font penser à la possibilité d'un seuil pour certains éléments dans les différentes parties de la plante, seuil qui doit être atteint au moment de la différenciation des boutons floraux pour assurer leur plein développement.

Chez les arbres à brûlures les teneurs en N du tronc et des racines tendent à être plus fortes que chez les arbres sans fruits. Les feuilles saines d'arbres brûlés et celles d'arbres sans fruits sont au même niveau, plus faible que celui des feuilles brûlées, observation qui a été déjà notée dans d'autres essais. En fait ces feuilles ici appelées brûlées ne présentaient pas de symptômes visibles pour la plupart : toutes les feuilles de rameaux atteints voient une modification de leur nutrition (les résultats antérieurs ont d'ailleurs montré que seules les feuilles de rameaux non fructifères étaient atteintes).

Pour tous les arbres, les rameaux 1967 courts sont plus riches en azote que les longs, les teneurs sont très comparables entre arbres à brûlures et sans fruits. Contrairement aux feuilles les rameaux courts brûlés tendent à être à un niveau plus bas que les non brûlés du même arbre.

Les teneurs des feuilles de l'arbre W 7 sont très voisines de celles des 2 autres arbres brûlés, dans le tronc et les racines elles sont comparables à celles des arbres sans fruits. Au total cet arbre immobilise 231 g d'azote, soit environ 40 % de moins que les arbres brûlés W 1 et W 4 alors que sa masse sèche était plus faible de 25 % seulement.

La masse d'azote immobilisée dans la partie végé-

tative est plus faible chez les arbres avec fruits, W 3 surtout, en raison à la fois de leurs masses sèches et de leurs teneurs plus faibles. Une partie des 156 g d'azote exportés par les fruits de l'arbre n° 3 provient donc bien de ses réserves. L'exportation d'azote par les fruits représente 30 à 50 % de la masse d'azote de la partie végétative. Les arbres sans fruits et avec brûlures sont très comparables deux à deux (W 2 et W 4, W 1 et W 5) en masse sèche et en masse d'azote.

Il faut souligner que 33 à 49 % de l'azote est concentré dans les feuilles qui en matière sèche ne représentent que 15 à 25 % de l'arbre. Nous voyons aussi que la masse d'azote des feuilles anciennes est relativement plus importante chez les arbres avec fruits que chez les autres ; il en est de même pour P, K, Mg. Ce résultat montre que :

1°) leurs réserves seraient relativement mal utilisées au cours du développement du fruit, contrairement au départ de la végétation ;

2°) ces arbres ayant produit avaient bien saisonné l'année précédente puisque leurs vieilles feuilles ont des teneurs tendant à être les plus élevées.

La part de l'azote des racines est en moyenne la plus élevée chez les arbres avec brûlures et la plus faible chez les arbres avec fruits. Les organes lignifiés aériens prennent une part pratiquement égale à celle des feuilles du fait de l'importance de leur masse sèche.

2) Bilan du phosphore (tableaux nos 4, 6).

Dans le secteur du carré planté en Wilking, les analyses foliaires antérieures ont fait apparaître une déficience en P et K qui explique les faibles teneurs trouvées ici.

Le rôle important du phosphore dans la constitution des organes reproducteurs est bien montré par la richesse de la pulpe et surtout des pépins de fruits. Les bourgeons, organes jeunes à respiration intense, sont les organes de l'arbre les plus riches en P.

Les deux arbres avec fruits ont régulièrement les teneurs les plus faibles, l'arbre W 3 étant toujours au niveau le plus bas. Il n'est pratiquement pas possible de différencier les arbres sans fruits et avec brûlures.

Les organes brûlés des arbres W 1 et W 4 ainsi que les bourgeons apparus sur rameaux brûlés, sont nettement plus riches que les mêmes organes non atteints, excepté les rameaux courts où le résultat est inversé, comme pour N. Ces résultats confirment bien que, lorsqu'il y a brûlure, les parties atteintes ont des caractères d'organes plus jeunes que les mêmes parties non atteintes, sauf pour les rameaux courts.

La masse immobilisée par les arbres avec fruits est,

surtout pour W 3, nettement plus faible que chez les autres arbres : le sol est déficient en P et les fruits ont de gros besoins, ils puisent donc dans les réserves de l'arbre ce que le sol ne peut leur fournir au moment voulu.

La plus grande part du phosphore se trouve dans les feuilles, en moyenne 35 % du P. L'arbre avec fruits W 6 qui avait un important feuillage est donc mieux pourvu en P que l'arbre W 3, aussi pour une exportation par les fruits comparable en fonction des masses sèches (exportations en P : W 3 : 11,8 g, W 6 : 10,7 g) la quantité de P restant dans l'arbre varie du simple au double (W 3 : 6,8 g, W 6 : 12,1 g). Les fruits vident donc pratiquement l'arbre de son P ; une année de récolte la déficience en P dans le sol ne semble pas être un facteur limitant mais il est difficile d'imaginer une récolte l'année suivante : environ 11 g ont été exportés et dans le même temps, les pousses de l'année n'ont absorbé et stocké que de 5 à 7 g de P.

Les quatre arbres W 1, W 4, W 2, W 5 immobilisent des masses de P sensiblement différentes mais les moyennes entre arbres à brûlures d'une part et arbres sans fruits d'autre part sont très voisines (pour autant qu'une moyenne sur deux chiffres soit significative).

Bilan du phosphore.

	MOYENNE DES DEUX ARBRES SANS FRUITS (g de P)	MOYENNE DES DEUX ARBRES AVEC BRÛLURES (g de P)
Racines.....	3,63	3,67
Parties lignifiées aériennes	3,90	3,88
Feuilles.....	5,19	5,07
Organes 67.....	6,25	6,37
Masse totale.....	15,48	15,49

Comparé à tous les autres arbres, l'arbre W 7 est relativement le plus riche en P : 12,5 g de P pour seulement 26,7 kg de matière sèche (l'arbre W 2, le plus lourd : 37,7 kg, n'immobilise que 17,1 g de P). Or, en fait, sa masse foliaire est sous-estimée par suite de la chute des feuilles brûlées, il est donc probable que l'assimilation du P par cet arbre a été supérieure à celle des autres.

En somme, on ne peut pas incriminer un excès de P comme cause initiale des brûlures puisque ici le terrain est déficient, mais l'arbre dont les feuilles ont été brûlées a absorbé plus de P que l'arbre normal, au moins dans les rameaux concernés.

3) Bilan du Potassium (tableaux nos 7, 8).

Si nous excluons le chevelu dont les teneurs exprimeraient l'état d'activité de l'arbre au moment de l'échantillonnage comme indiqué plus haut, nous voyons que les racines des arbres venant de produire ont les teneurs en K les plus fortes et leurs autres organes ont toujours les teneurs les plus faibles. Les fruits ont des besoins importants en K, leur maturation se termine en hiver alors que l'arbre n'a pratiquement plus d'activité. On peut penser que les fruits prennent alors du K dans les zones les plus rapprochées, d'où chute des teneurs dans les organes aériens. Dans les racines les fortes doses indiqueraient la forte absorption qui a été nécessaire durant l'année pour alimenter les fruits.

Pour les parties aériennes ce sont les arbres sans fruits qui atteignent les niveaux les plus élevés. Les arbres avec brûlures paraissent plus sensibles à la déficience en K que les autres ; cependant les organes avec brûlures ont tous des teneurs plus élevées que les mêmes organes de tous les arbres confirmant leur caractère de « jeunesse prolongée » mentionné plus haut. Les rameaux longs tendent à être plus riches que les rameaux courts mais la différence est surtout nette entre rameaux longs et courts brûlés.

Les bourgeons et les fruits (pulpe surtout) sont les parties de l'arbre les plus riches en K, en liaison avec son rôle sur l'accroissement des tissus et la synthèse des constituants du fruit. Les fruits de l'arbre ayant le plus produit ont les teneurs les plus élevées (surface de transpiration plus grande d'où plus grande concentration et demande en K plus importante ? ou meilleure fructification parce que meilleure mobilisation du K dans la plante ?).

Si l'exportation par les fruits n'est pas incluse, les arbres sans fruits immobilisent le plus de K, ils seraient moins sensibles à la déficience que les arbres à brûlures dont les organes brûlés à plus forte teneur mais à masse sèche faible n'ont pu avoir une grande importance dans le bilan. Les arbres à fruits sont plus pauvres, une partie de leurs réserves étant utilisée par les fruits (surtout l'arbre W 3 qui ne contient que 78,9 g contre 95,6 au W 6) ; mais leur alimentation est surtout assurée par une augmentation d'absorption dans le sol car *les fruits exportent plus de K que les arbres qui n'ont pas produit n'en immobilisent*. La potasse du fait de sa grande solubilité et mobilité ne doit pratiquement pas intervenir dans l'alternance, le stimulus de la fructification provoquant une augmentation de l'absorption. Le stockage de l'année précédente n'intervient que fort peu puisque nous voyons la part des

vieilles feuilles augmenter dans les arbres avec fruits par rapport aux autres arbres.

L'arbre W 7 contient plus de K que les autres arbres brûlés, du fait de la plus grande importance de ses organes brûlés à teneurs élevées.

4) Bilan du calcium (tableaux nos 7, 9).

L'étude du tableau 7 montre que plus les organes sont lignifiés plus leurs teneurs sont faibles. Ce sont les vieilles feuilles qui sont les plus riches en calcium, probablement à la suite de la migration de certains autres constituants, celles des arbres avec fruits se distinguant cependant de celles des autres arbres par un niveau plus faible. Les organes 1967 ainsi que les bourgeons sont à l'inverse plus riches chez ces deux arbres avec fruits, qui comme nous l'avons vu précédemment ont des teneurs plus faibles en N, P, K d'où augmentation relative du Ca. En rapprochant les résultats des feuilles 1967 et des vieilles feuilles on voit que les arbres n'ayant pas produit en 1967 avaient certainement donné une récolte l'année précédente.

Les organes brûlés, rameaux, feuilles, sont plus pauvres en Ca que les mêmes organes non atteints, des mêmes arbres confirmant bien le caractère « plus jeune » des parties malades ; à l'inverse les bourgeons de rameaux brûlés sont plus riches (sauf sur l'arbre W 7). Nous voyons aussi que les organes 1967 non atteints d'arbres brûlés, sont plus riches que ceux d'arbres sans fruits. Les rameaux longs ont des teneurs nettement plus faibles que les rameaux courts et aussi que les branches de diamètre inférieur à 5 mm. Il est probable que la différence de morphologie entre rameaux courts et longs (plus aqueux, plus souples) est liée à cette différence de niveaux, le calcium intervenant dans la constitution des membranes sous forme de pectates.

Dans les fruits, où l'écorce est la plus riche, le caractère des pousses 1967 se retrouve : les teneurs des fruits de l'arbre W 3 sont plus élevées que celles de l'arbre W 6.

Cet arbre W 6 à niveau plus faible immobilise une quantité de Ca largement supérieure à celle de l'arbre W 3 et des 5 autres arbres en raison de sa masse foliaire très développée, partie la plus riche en Ca. Si nous exceptons les arbres W 6 et W 7 (dont la faible masse de Ca est liée à sa faible masse sèche) nous constatons que les 5 valeurs sont très proches avec une tendance à une masse plus forte chez les arbres brûlés. Or, nous savons que ce sont des amendements calcaires qui empêchent cette brûlure ; ces apports servent donc en fait surtout à élever le pH du sol, donc à blo-

quer dans le sol certains éléments, le calcium, élément minéral, ne paraît pas pouvoir être mis en cause dans les brûlures.

Les feuilles à elles seules contiennent 40 à 50 % du Ca de l'arbre, preuve que *le Ca a un rôle important dans la plante puisqu'il est localisé dans les organes ayant la plus grande activité synthétique*. Pour les 7 arbres le calcium représente pondéralement 50 à 65 % de la somme des cinq éléments majeurs (N : 25 à 30 % P : 1 à 1,5 %, K : 8 à 10 % Mg : 3 à 4 %).

5) Bilan du Magnésium (tableaux nos 10, 11).

Nous savons que le magnésium intervient dans la constitution de la chlorophylle mais aussi comme activateur d'enzymes (9) ; il n'est donc pas surprenant que racines, tronc, branches aient des teneurs très faibles et variables avec les arbres, et que les feuilles soient les plus riches. Les bourgeons, très jeunes, sont encore peu chlorophylliens ; cependant ceux apparus sur rameaux brûlés ont des teneurs plus élevées, ainsi que pour le calcium, le phosphore, le sodium, le cuivre, le manganèse et le bore, qui semblent indiquer un degré de développement plus avancé. Les brûlures pourraient être liées à une stimulation localisée de la précocité de la plante (les facteurs externes n'interviennent pas directement : tous les rameaux d'un même arbre se trouvent dans les mêmes conditions) par accumulation d'une substance stimulatrice ou défaut d'une substance inhibitrice ; la fructification ayant un effet inverse puisque les rameaux fructifères ne présentent pas de brûlures.

Les vieilles feuilles sont plus riches en Mg que les feuilles 1967 surtout chez les arbres sans fruits avec ou sans brûlures. Il est difficile d'établir des différences entre les trois classes d'arbres pour les rameaux 1967 : les teneurs varient avec chaque arbre. Par contre, les feuilles 67 des arbres avec fruits sont nettement plus riches, les arbres sans fruits (W 2, W 5) étant les plus pauvres.

Dans le cas des trois arbres brûlés, outre les teneurs plus fortes des bourgeons de rameaux à brûlures nous voyons que les feuilles de ces mêmes rameaux ont des teneurs plus faibles que celles des rameaux non atteints pouvant indiquer une chlorose. Cette tendance à une chute du Mg n'est pas liée à une déficience dans le sol, car les arbres avec fruits sont bien pourvus : l'alimentation des fruits est assurée sans chute de niveau dans les autres parties de la plante. Les fruits de l'arbre W 3 sont plus riches que ceux de l'arbre W 6. Les pépins se situent à un niveau relativement élevé, identique pour les deux arbres.

Les feuilles des arbres porteurs contiennent 66 % de tout le magnésium de la plante. Dans les arbres n'ayant pas produit les feuilles ont moins d'importance, ce sont les organes lignifiés qui voient leur proportion augmenter. Les teneurs foliaires plus élevées indiquent une plus forte activité photosynthétique donc un plus fort développement chlorophyllien des arbres avec fruits. En masse totale la moyenne de chaque groupe d'arbres (W 7 exclu) est voisine.

Les fruits de l'arbre W 3 exportent 50 % de Mg de plus que ceux de l'arbre W 6, pour une masse sèche supérieure de 10 % seulement.

Dans les feuilles 1967 l'interaction entre cations K, Ca, Mg est évidente : si nous considérons les feuilles brûlées nous voyons que toutes ont une teneur en K plus élevées que les feuilles non brûlées, et qu'inversement Ca et Mg sont plus faibles. Nous retrouvons également le déséquilibre anions-cations signalé dans les autres études de feuilles brûlées, dans lesquelles N et P augmentent et Ca décroît.

6) Bilan du sodium (tableaux n°s 10, 12).

Le sodium est caractérisé par sa grande solubilité et mobilité ; il est donc tout à fait normal de trouver les plus fortes teneurs au niveau des racines les plus petites, siège de l'absorption, et des feuilles. Ce sont les vieilles feuilles qui sont les plus riches.

Les organes brûlés et les bourgeons de rameaux brûlés sont toujours plus riches que les mêmes organes non brûlés du même arbre et des arbres sans fruits, dont les racines sont aux niveaux les plus faibles.

Les arbres avec fruits, excepté dans les feuilles qui sont semblables, sont toujours les plus riches, en particulier l'arbre W 3. Selon CHAPMAN (10) l'optimum dans les feuilles serait compris entre 0,01 et 0,15 %. L'excès serait au-dessus de 0,25 %. Si ces normes (établies pour des feuilles d'un âge défini) sont applicables à ce cas, nous constatons que les feuilles brûlées sont à un niveau élevé qui n'atteint cependant pas l'excès.

Les fruits n'exportent qu'une assez faible quantité de sodium : 2,8 et 2,1 g, dont plus de 50 % dans la peau. Les deux arbres qui les ont produits immobilisent la plus grande quantité de Na : 21,6 g environ ; ce sont les arbres sans fruits qui sont les plus pauvres (près de 18 g), l'arbre W 7 excepté.

Pour certains auteurs, le sodium pourrait se substituer au potassium quand celui-ci est déficient pour certaines fonctions physiologiques. Il est difficile d'affirmer que dans le cas des 'Wiling' pauvres en K, le sodium ait pu jouer ce rôle.

7) Exportations des fruits.

Les fruits de l'arbre ayant le plus produit (W 3) sont plus riches en N, K, Ca, Mg. Le tableau ci-dessous donne le bilan des éléments majeurs dans le total des fruits ; nous voyons la part importante prise par l'azote (33 à 38 % de la somme pondérale des cinq éléments) et le potassium (près de 40 %). Une partie de ces deux éléments a été prise sur les réserves de l'arbre. Le calcium a également une part importante, caractère que l'on retrouve dans toutes les parties de l'arbre.

*Exportations des fruits de chaque arbre.
Éléments majeurs.*

	W 3		W 6	
	Masse (g)	Total (%)	Masse (g)	Total (%)
N.....	156,0	33,1	124,1	37,9
P.....	11,8	2,5	10,7	3,3
K.....	188,1	39,9	129,7	39,6
Ca.....	99,7	21,2	52,3	16,0
Mg.....	15,5	3,3	10,5	3,2
Total.....		100,0		100,0

Ramenée à une tonne de fruits frais, l'exportation moyenne (en kg) de ces 5 éléments est donnée dans le tableau suivant. Nous citons à côté de nos résultats ceux que CHAPMAN (11) et SMITH (12) ont publiés (sur orange). Nous voyons bien apparaître la déficience en P du terrain, et par contre de plus fortes quantités d'azote qui pourraient être un caractère variétal.

*Exportations des 'wiling' par tonne de fruits frais.
(Résultats comparés aux résultats obtenus avec des oranges.)*

	WILKING CORSE (kg/t)	ORANGES CALIFORNIE (CHAPMAN) (kg/t)	ORANGES FLORIDE (SMITH) (kg/t)
N.....	1,84	1,18	1,29
P.....	0,15	0,27	0,20
K.....	2,06	2,61	1,87
Ca.....	0,97	1,04	0,36
Mg.....	0,17	0,19	0,18
Na.....	0,03		

B. OLIGO-ÉLÉMENTS (Fe, Cu, Mn, Al, Zn, B).

Les résultats sont exprimés en p. p. m. de matière sèche et en milligrammes d'élément.

1) Bilan du fer (tableaux nos 13, 14).

En sol acide le fer est assez facilement solubilisé mais toujours assez peu mobile dans la plante. C'est pourquoi nous trouvons presque tout le fer de l'arbre dans ses racines (61 à 81 %), en particulier le chevelu est très riche, jusqu'à 10 450 p. p. m. ou 1,045 %. La différence entre tronc et pivot est très nette quant aux teneurs en fer.

Les vieilles feuilles sont toujours plus riches que les feuilles de l'année, qui avec une teneur de 150 à 200 p. p. m. sont à un bon niveau.

Les organes 1967 montrent quelques caractères intéressants :

— Les feuilles et bourgeons de rameaux brûlés sont moins riches que les mêmes organes des rameaux non atteints.

— les rameaux longs présentent les niveaux les plus faibles de tout l'arbre et se distinguent bien des rameaux courts.

— les bourgeons de l'arbre W 6 avec fruits sont nettement plus riches que ceux des arbres sans fruits avec ou sans brûlures.

Les fruits immobilisent une faible quantité de fer — environ 4 % de la masse totale de l'arbre — avec de fortes teneurs dans les pépins. Au total, *les arbres avec fruits immobilisent et exportent moins de fer que les autres arbres*, leurs racines, facteurs prépondérant, étant dans l'ensemble les moins riches en quantité et en proportion ; par contre leurs organes aériens lignifiés sont proportionnellement plus importants que chez les autres arbres. Les arbres sans fruits (W 2, W 5) et avec brûlures (W 1, W 4) ont accumulé *dans leurs racines une forte quantité de fer* sans pour autant que dans les feuilles il y ait élévation de teneurs.

Nous constatons que la proportion du fer, et des autres métaux Cu, Al, Mn, Zn à la matière sèche est en général la plus faible, avec les arbres à fruits, que la récolte soit incluse ou non dans le calcul, mais aussi que les résultats des deux arbres à fruits sont moins différents entre eux que ceux des deux autres groupes d'arbres.

2) Bilan du cuivre (tableaux nos 13, 15).

Le cuivre se trouve en grande partie dans les racines (44 à 73 %) ; dès le pivot la teneur chute nettement.

Il est cependant plus mobile que le fer car ce n'est pas le chevelu qui a les plus fortes teneurs et les organes aériens sont en proportion plus importants que pour le fer.

D'après SMITH (13) le cuivre serait très mobile dans les feuilles au moment de la pousse, ce qui expliquerait les teneurs relativement élevées dans les bourgeons ainsi que dans les rameaux lieu de transit vers les bourgeons, dont le niveau le plus bas est observé chez l'arbre W 3 sans bourgeons. Les teneurs des feuilles sont faibles en raison en partie de cette mobilisation vers les bourgeons. Pendant la maturation des fruits une partie du cuivre doit également migrer vers ces fruits qui sont relativement riches (les teneurs sont plus élevées que dans les feuilles) et qui exportent environ 25 % de la masse immobilisée dans le reste de l'arbre. Au total d'ailleurs, les deux arbres avec fruits contiennent moins de cuivre que les autres arbres dans leur partie végétative, caractère qui se retrouve pour les cinq métaux étudiés.

3) Bilan du manganèse (tableaux n° 16, 17).

En sol acide il n'y a guère de risques de carences en Mn. Les caractères essentiels observés dans les Wilking sont : une forte teneur du chevelu, des organes aériens lignifiés, rameaux 1967 et fruits très pauvres, des vieilles feuilles toujours plus riches que les feuilles 1967. Apparemment, les bourgeons, qui ont une teneur assez élevée, n'ont pas utilisé le manganèse des feuilles car on constate que ce sont les feuilles de l'arbre sans bourgeons qui sont les plus pauvres. Sur un même arbre les bourgeons brûlés sont plus riches que les non brûlés. Les bourgeons de l'arbre W 6 avec fruits sont toujours plus riches que les autres aussi bien en Mn qu'en Fe, Cu, Al. Cette richesse relative des bourgeons en métaux indique bien qu'ils ont un rôle dans les réactions enzymatiques, toujours importantes dans les organes jeunes.

En masse ce sont toujours les racines qui contiennent la plus grande partie du manganèse (de 41 à 63 %) mais nous voyons aussi que cet élément peut migrer assez facilement dans la plante, les feuilles en contenant de 23 à 43 %. En relation avec la masse sèche des arbres, nous voyons que les arbres avec brûlures tendent à contenir moins de Mn que les arbres sans fruits.

Il semble en fait que pour le manganèse chaque arbre réagit plutôt individuellement, dans les limites imposées par les conditions pédologiques et sans relations avec les caractères étudiés ici (fructification, brûlures) ; en effet, à l'examen de ces résultats il est délicat de regrouper les arbres dans les trois classes établies.

4) Bilan de l'aluminium (tableaux n° 16, 18).

LIEBIG (14), en 1942, a observé que sur solution nutritive contenant de l'Al, cet élément s'accumulait dans les racines les plus petites, sans transport ; et des témoins cultivés sur solution sans Al en contenaient plus dans leurs organes terminaux aériens. Nous savons aussi que sur sol acide l'aluminium est bien solubilisé, tandis que le phosphore le bloque : or les Wilking étaient cultivées sur sol acide pauvre en P ; toutes les conditions sont réunies pour que les racines trouvent facilement de l'aluminium libre. Le chevelu a des teneurs très élevées ; le niveau s'effondre très nettement dans les autres racines qui cependant sont beaucoup plus riches que les autres organes, l'écorce exceptée ; les vieilles feuilles sont au moins aussi riches que les feuilles 1967 et parmi celles-ci ce sont les feuilles brûlées qui ont les teneurs les plus faibles. Les bourgeons de rameaux brûlés sont également plus pauvres que ceux de rameaux non atteints des mêmes arbres.

En proportions et en masses nous voyons que :

— les racines contiennent moins d'aluminium chez les deux arbres avec fruits que chez les quatre autres, les teneurs des racines de diamètre inférieur à 15 mm sont nettement plus élevées chez les arbres brûlés que chez les autres arbres.

— l'aluminium semble avoir migré plus haut dans les arbres avec fruits, puisque les organes lignifiés aériens contiennent alors 25 % de l'aluminium contre 11 à 16 % chez les autres arbres. Par contre les feuilles ont la même importance.

Dans les fruits, Al, Fe, Mn sont plus abondants chez l'arbre ayant le plus produit.

5) Bilan du zinc (tableaux n° 19, 20).

Les organes lignifiés sont très pauvres en zinc, seul le chevelu atteint des niveaux relativement élevés, teneurs qui font penser à un blocage à ce niveau, seules les quantités nécessaires à l'arbre seraient mobilisées au-delà du chevelu.

Les rameaux 1967 sont dans l'ensemble plus riches que les feuilles qu'ils portent. Si les rameaux courts brûlés sont moins riches que les mêmes rameaux non atteints, les teneurs des feuilles brûlées ou non d'un même arbre sont identiques. Les vieilles feuilles sont toujours plus riches que les feuilles 1967 dont les teneurs seraient déficientes selon les normes de CHAPMAN (optimum 25 à 100 p. p. m., déficience en dessous de 15 p. p. m.), excepté celle de l'arbre W 3 à forte production qui se distingue par de faibles niveaux dans les rameaux et des niveaux plus forts dans les feuilles.

Cette tendance à un appauvrissement des rameaux se retrouve à un degré moindre chez l'arbre à fruits W 6.

Les bourgeons ont des niveaux élevés, avec une tendance aux teneurs les plus fortes chez les bourgeons de rameaux brûlés ; ce zinc semble bien provenir des feuilles 67, dont la teneur est la plus forte dans l'arbre W 3 sans bourgeons. D'autre part les fruits pourraient avoir utilisé une partie du zinc des rameaux de l'année puisque leurs teneurs sont plus faibles dans les rameaux d'arbres avec fruits.

Chez ces 'Wilking' l'alimentation en zinc semble faible. SMITH (13) a en effet trouvé dans les racines des teneurs de l'ordre de 2 à 3 000 p. p. m. de Zn alors que le chevelu de nos 'Wilking' contient 65 à 215 p. p. m. au maximum. Suivant ce même auteur une carence en zinc serait accompagnée de faibles teneurs en Ca, caractère que nous n'avons pas retrouvé, ce serait d'ailleurs un caractère de toutes les carences en oligo-éléments métalliques : Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, accompagnées de hautes teneurs en K et N. Il y a donc certainement déficit en zinc mais sans apparition de symptômes.

Il est remarquable que les masses de zinc immobilisées et exportées par les deux arbres avec fruits sont identiques et indépendantes de la masse sèche.

Il semble que ce soit les rameaux de l'année et les feuilles qui interviennent dans la nutrition des fruits, pour le zinc ; nous voyons qu'en masse ces organes représentent le tiers de la totalité du zinc contenu dans l'arbre.

Conclusion :

Pour établir le diagnostic de Fe, Cu, Mn, Al, Zn il semble qu'il soit intéressant d'effectuer à la fois des analyses de *feuilles* et de *racines du diamètre le plus faible*. Ces métaux étant assez peu mobiles dans la plante les toxicités peuvent apparaître dans les racines et se répercuter sur le métabolisme de la plante sans pour autant que dans la feuille les teneurs de ces métaux paraissent anormales. Les feuilles, elles, donnent les niveaux nutritionnels indépendamment de l'absorption dans le sol ; une carence dans la feuille ne signifie pas obligatoirement carence dans le sol mais peut aussi indiquer un blocage dans les organes inférieurs.

Pour SMITH (15), Cu et Zn sont assez facilement mobilisés dans les feuilles à l'inverse de Fe et Mn. Nous retrouvons bien ce caractère : les bourgeons ont probablement prélevé Cu et Zn dans les feuilles alors que les teneurs en Fe, Mn et mêmes Al des feuilles ne semblent pas affectées par le développement des bourgeons.

5. Les feuilles — anciennes et de l'année — qui représentent en moyenne le 1/4 de la masse fraîche des arbres contiennent du tiers à la moitié de N, P, K, Ca, B de l'arbre — et environ 60 p. cent du Mg et Na — résultats voisins de ceux de CAMERON (19) sur 'Valencia' mettant bien en valeur le rôle de réserve des feuilles.

Les exportations en K par les fruits dépassent largement les immobilisations. Les arbres venant de produire sont appauvris en K mais assez peu, ce K exporté semble être pris directement dans le sol — une fumure potassique importante est sûrement nécessaire mais pas suffisante pour éviter l'alternance.

6. Des réglemens dénutritifs apparaissent bien avec les brûlures mais il n'est pas possible de leur en attribuer la cause. Très souvent arbres brûlés et arbres sans fruits et sans brûlures ont des caractères proches probablement liés à la production insignifiante.

Il semble que les éléments majeurs interviennent moins que les oligo-éléments dans la détermination des brûlures. Or ceux-ci jouent un grand rôle dans les réactions enzymatiques qui contrôlent les réactions hormonales. L'hypothèse d'une substance hormonale intervenant — ou faisant défaut — pour induire les brûlures pourrait être retenue — hypothèse déjà suggérée pour expliquer l'alternance.

7. Les métaux : Al, Cu, Fe, Mn, Zn s'accumulent dans les racines dont les teneurs pourraient peut être permettre de déterminer les toxicités ; mais leurs niveaux dans les feuilles sont certainement plus significatifs de leurs activités — quoiqu'une part seulement de ces métaux des feuilles soit vraiment active.

*
* *

Nous tenons à remercier nos collègues L. BLONDEL, directeur de la Station de Recherches Agrumicoles et J. CASSIN, ingénieur, pour cette initiative et le choix des arbres et les facilités qu'ils nous ont procurées. Le travail d'échantillonnage a été effectué dans les meilleures conditions possibles grâce à la collaboration efficace de MM. CICCOLI et VULLIN.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) MARTIN-PRÉVEL (P.) et col. — Les essais sol-plante sur bananiers. *Fruits*, vol. 20, 1965, n° 4, p. 157-169, n° 6, p. 261-281, n° 8, p. 398-410, n° 11, p. 634-645 ; vol. 21, 1966, n° 1, p. 19-36, n° 6, p. 283-294, n° 8, p. 395-416.
- (2) PEARCE (S. C.). — Opportunities difficulties in the sampling of woody perennial. Séminaire d'Horticulture scientifique. Table ronde sur l'échantillonnage des organes des plantes ligneuses. Gembloux, avril 1967.
- (3) CAMERON (S. H.) and COMPTON (O. C.). — Nitrogen in Bearing Orange Trees. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, vol. 46, 1945, p. 60-68.
- (4) CASSIN (J.) et coll. — General study of leaf analysis and Citrus fruit analysis under Corsica environmental conditions. International Citrus Symposium. Riverside, mars 1968.
- (5) LACEUILHE (J. J.) et coll. — Aspects physiologiques de défoliations anormales des agrumes en Corse. 2^e Colloque européen et méditerranéen sur le Contrôle de l'Alimentation des plantes cultivées. Séville, septembre 1968.
- (6) WALLACE (A.) et coll. — Seasonal and loss of nutrients and dry matter in orange trees. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, vol. 58, 1951, p. 5-10.
- (7) CAMERON (S. H.). — Quantitative relationship between leaf, branch, and root systems of the Valencia orange tree. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, vol. 37, 1939, p. 125-126.
- (8) BARNETTE et coll. — Composition minérale d'un pomélo de semis âgés de 19 ans. *The Citrus Industry*, vol. 1, p. 720-728. University of California press Berkeley 1948.
- (9) HEWITT (E. J.). — The role of the mineral elements in plant nutrition. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* vol. 2, 1951, p. 25-52.
- (10) CHAPMAN (H. D.). — The status of present criteria for the diagnosis of nutrient condition in Citrus. *Plant Analysis and Fertilizer Problems*, éd. Reuther, 1961, p. 75-106.
- (11) CHAPMAN (H. D.) and KELLEY (W. P.). — The mineral nutrition of Citrus. *The Citrus Industry*, vol. 1, chap. 7. University of California Press 1948.
- (12) SMITH (P. F.) and REUTHER (W.). — Mineral content of oranges in relation to fruit age and some fertilization practices. *Proc. Fla. hort. Soc.*, 1953, 66.
- (13) SMITH (P. F.). — Leaf analysis of Citrus, in *Fruit Nutrition*. Norman F. Childer Editor 1966.
- (14) LIEBIG (G. F.) et coll. — Effects of Al and Cu toxicity as revealed by solution culture and spectrographical studies Citrus. *Soil. Sci.*, 1942, vol. 53, p. 341-351.
- (15) SMITH (P. F.). — Citrus Nutrition in *Fruit Nutrition*. Norman F. Childer Editor 1966.
- (16) LEWIS (L. N.) et coll. — The effect of biennial bearing and N. A. A. on the carbohydrate and nitrogen composition of Wilking mandarin leaves. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 1964, vol. 84, p. 147-151.
- (17) OGAKI (C.) et coll. — Investigations on the cause and control of alternate bearing of Unshu orange trees. — IV. Nitrogen and carbohydrate contents in the shoots as related to blooming and fruiting. *J. Jap. Soc. hort. Sci.*, 1963, vol. 32, p. 157-167.
- (18) JONES (W. W.) and EMBLETON (T. W.). — The influence of amount of fruit and lime of harvest on macronutrient concentrations in 'Valencia' oranges leaves. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 1968, vol. 92, p. 191-194.
- (19) CAMERON (S. H.). — Seasonal changes in dry matter and nutrient composition of bearing Valencia orange trees. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1954, vol. 63, p. 59-66.

6) Bilan du bore (tableaux n° 19, 21).

Nous constatons que ce sont à coup sûr les feuilles qui sont les organes les plus intéressants pour le diagnostic du bore dans les 'Wilking' : elles atteignent les niveaux les plus élevés et semblent bien refléter les différents états de la plante.

Les feuilles 67 d'arbres sans fruits sont les plus pauvres alors que les feuilles saines d'arbres brûlés donnent les niveaux les plus hauts, les feuilles brûlées étant les plus faibles ; au contraire les bourgeons et rameaux à brûlures sont les plus riches.

Les feuilles représentent en masse 45 à 60 % du bore de l'arbre, les racines ayant la part la plus faible : le bore est donc relativement bien mobile dans la plante ; le cheveu n'a d'ailleurs pas de teneurs plus élevées que les autres racines.

L'écorce est, comme pour tous les éléments, la partie la plus riche du tronc et probablement aussi de tous les organes avec écorces.

Il semble peu probable que les bourgeons puisent directement le bore nécessaire dans le stock des feuilles : il n'y a pas ou peu de différences entre arbre sans et arbre avec bourgeons et entre vieilles et jeunes feuilles.

Suivant les normes de CHAPMAN (10) (optimum de 50 à 200 p. p. m.) et les résultats de SMITH (13) les teneurs des feuilles de nos 'Wilking' sont faibles, peut-être en raison de l'acidité du sol qui favorise le lessivage du bore dans le sol. SMITH indique dans les racines des teneurs voisines de 20 p. p. m., alors que le maximum enregistré ici est de 14 p. p. m. Les arbres n'atteignent probablement pas le niveau de carence car les fruits qui sont très sensibles à cette carence ne montrent pas de symptômes, leur écorce est d'ailleurs relativement riche, et l'exportation par les fruits représente 20 à 30 % de la masse immobilisée par la plante entière. Les normes américaines, établies pour l'oranger, ne sont peut-être pas applicables telles quelles au mandarinier 'Wilking'.

CONCLUSIONS

1. Cette étude a permis de comparer deux méthodes d'échantillonnage afin d'établir le bilan de plants d'agrumes : une méthode totale par prélèvement de toutes les parties de l'arbre et une autre par choix de branches représentatives. La deuxième technique paraît valable, les résultats obtenus sont très comparables.

2. La production végétative de l'année — dont les 4/5 sont des feuilles — représente en moyenne le quart du poids total de l'arbre. Les pousses de l'année sont plus riches en eau si elles ont présenté des brûlures et elles portent alors moins de bourgeons éclos que les pousses indemnes. Les arbres venant de produire ont un retard très net au démarrage de la végétation.

3. Les arbres avec fruits sont, pour la plupart des éléments, très affaiblis, ce qui impliquerait une activité très intense l'année suivante pour assurer une récolte. Des essais d'apport d'engrais très supérieurs à la normale n'ont cependant pas empêché cette alternance d'années à fortes et à faibles récoltes. D'autres facteurs sembleraient devoir être mis en œuvre.

Pour LEWIS et coll. (16) le mécanisme du contrôle de l'alternance chez les mandariniers 'Wilking' serait lié aux mécanismes régulateurs sensibles à l'action de l'A. N. A. Les teneurs en carbohydrates et N seraient affectés par l'alternance mais il ne semble pas que ce soit les facteurs limitant de la production. Nous avons bien retrouvé ce caractère de l'azote mais aussi celui du potassium sans pouvoir, non plus, leur en attribuer la cause.

Pour OGAKI (17) également la différenciation des fleurs d'orange 'UNSHIU' est favorisée par une teneur élevée des rameaux en sucres et en N. Cette teneur s'accroît de décembre à février et les fleurs seraient formées de la mi-mai à la fin du mois sous l'influence d'hormones qui s'accumuleraient en même temps que les sucres et l'azote. On pourrait donc supposer que s'il y a un manque d'azote il peut y avoir manque d'hormones, donc floraison et production faibles.

4. JONES et EMBLETON (18) ont observé sur 'Valencia' que les feuilles de l'année étaient plus pauvres en N et P les années de récolte, caractère que nous retrouvons non seulement dans les feuilles mais aussi dans la plupart des autres organes (sauf les feuilles anciennes pour N) pour N-P mais aussi K ainsi que les métaux Fe, Cu, Mn, Al, Zn. Pour ces mêmes auteurs les années de récolte plus la production est forte plus P et K sont faibles. L'arbre W₃ ayant plus produit est plus pauvre en P dans tous les organes et immobilise moins de K dans ses parties végétatives alors qu'il est plus lourd que l'arbre W₆.

Main data table with 10 columns of sub-tables. Each sub-table has 7 columns (W3, W5, W2, W4, W1, W6, W7) and 20 rows of data. The sub-tables are: 1. MASSES DE MATIERE FRAICHE, 2. MASSES DE MATIERE SECHE, 6. MASSES DE PHOSPHORE, 8. MASSES DE POTASSIUM, 9. MASSES DE CALCIUM, 11. MASSES DE MAGNESIUM, 12. MASSES DE SODIUM, 14. MASSES DE FER.

Matières fraîches et séchées, N, P, K, Ca, Mg, Na masses en grammes
Fe, Cu, Mn, Al, Zn, B masses en milligrammes

Main data table with columns for various elements and rows for different categories. The table is organized into several sections: 15. MASSES DE CUIVRE, 16. MASSES EN MANGANESE, 17. MASSES DE MANGANESE, 18. MASSES D'ALUMINIUM, 19. MASSES EN CALCIUM, 20. MASSES DE ZINC, 21. MASSES DE BOIRE, 22. MASSES EN MATIERE SECHE, 23. MASSES EN SODIUM, 24. MASSES EN PHOSPHORE, 25. MASSES EN POTASSIUM, 26. MASSES EN AZOTE, 27. MASSES EN FER, 28. MASSES EN ALUMINIUM, 29. MASSES EN ZINC, 30. MASSES EN BOIRE. Each section contains multiple rows of data points.

MASSES D'ELEMENTS PAR TYPES D'ORGANES (fin)

MASSES D'ELEMENTS PAR TYPES D'ORGANES

Matière sèche : teneur en % de matière fraîche
M. N. Ca. Mg. Na. K. teneur en % de matière sèche
Fe. Cu. Mn. Ni. Zn. B. teneur en ppm de matière sèche

Table with columns for various elements and rows for different categories. This section includes data for MASSES EN MATIERE SECHE, MASSES EN SODIUM, MASSES EN PHOSPHORE, MASSES EN POTASSIUM, MASSES EN AZOTE, and MASSES EN FER.

Table with columns for various elements and rows for different categories. This section includes data for MASSES EN CALCIUM, MASSES EN POTASSIUM, MASSES EN AZOTE, MASSES EN FER, MASSES EN ALUMINIUM, and MASSES EN ZINC.

Table with columns for various elements and rows for different categories. This section includes data for MASSES EN ALUMINIUM, MASSES EN ZINC, and MASSES EN BOIRE.

Table with columns for various elements and rows for different categories. This section includes data for MASSES EN BOIRE.

