

Effet des caractéristiques du sol sur la nutrition minérale de l'amandier

## L'analyse des feuilles comme base du plan de fertilisation

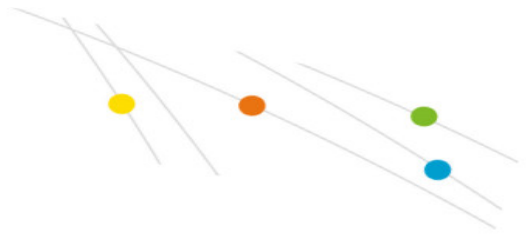
Feuilles à prélever : une feuille par nœud, ne portant pas de fruit. Moment de prélèvement : milieu de l'été soit, au Chili, entre le 15 janvier et le 15 février.

## Niveaux critiques

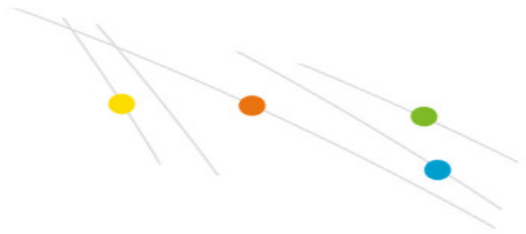
Tableau 1 : teneurs en nutriments et leur interprétation concernant les amandiers.

Élément	Symbole	Unité	Valeurs trouvées (à partir du poids en matière sèche)		
			Carence	Disponibilité adéquate	Excès
Azote	N	%	< 2,0	2,2 - 2,5	> 2,7
Phosphore	P	%	< 0,1	0,1 - 0,3	-
Potassium	K	%	< 1,0	1,4 - 2,5	-
Calcium	Ca	%	< 2,0	2,0 - 4,0	-
Magnésium	Mg	%	< 0,25	0,25 - 0,50	-
Zinc	Zn	ppm	< 15	> 18	-
Manganèse	Mn	ppm	< 20	> 22	-
Fer	Fe	ppm	-	120	-
Bore	B	ppm	< 25	30 - 65	> 85
Cuivre	Cu	ppm	< 3,0	> 4,0	-
Chlore	Cl	%	-	-	> 0,3
Sodium	Na	%	< 0,20	0,20 - 0,25	> 0,25

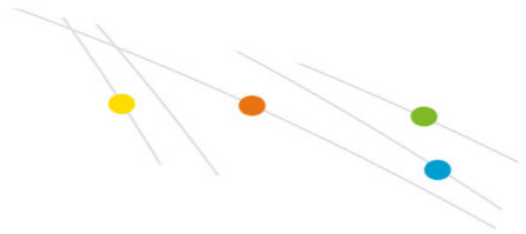
SHAPE \* MERGEFORMAT <v:rect id="Rectangle\_x0020\_378" o:spid="\_x0000\_s1026" style='width:14.65pt;height:14.65pt;visibility:visible;mso-wrap-style:square; mso-left-percent:-10001;mso-top-percent:-10001;mso-position-horizontal:absolute; mso-position-horizontal-relative:char;mso-position-vertical:absolute; mso-position-vertical-relative:line;mso-left-percent:-10001;mso-top-percent:-10001; v-text-anchor:top' o:gfxdata="UESDBBQABgAIAAAAIQC75UiUBQEAAAB4CAAATAAAAW0NvbnRIbnRfVHlwZXNdLnh



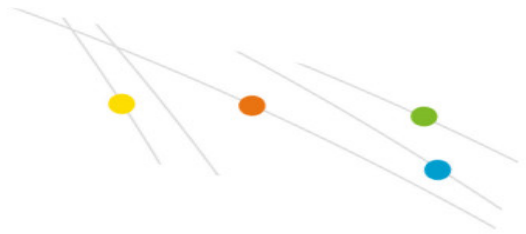
dyTewfKKEqcMCKEmHfgZgaE8wMW+SSwc27JvS/v23KTJgkoXFsu+P+c7OI5vDoMTe0zZBI/LVv  
gV4HY31Xy4/tS3EvRSbwBlzwWMsjZrlprq/W22PELHjb51r2RPFbqax7HCCXlaLnThvSAMTP1Kkl  
+gs6VLdVdad08ISeCho1ZLN+whZ2jsTzgcnsjwldluLxNDiyagkxOquB2Knae/OLUsyEkjenmdzb  
mG/YhlRnCWpnb8C898bRJGtQvEOiVxjYhtLOxs8AySiT4JuDystIVV4WPem6tK3ValLeDZxIOSsu  
ti/jidNGNZ3/J08yC1dNv9v8AAAA//8DAFBLAwQUAAYACAAAACEArTA/8cEAAAAYAQAAcWAAAF9  
ZWxzLy5yZWxzhl/NCslwEITvgu8Q9m7TehCRpr2I4FX0AdZk2wbbJGTj39ubi6AgeJtl2G9m6vYx  
jeJGka13CqqiBEFOe2Ndr+B03C3WIDihMzh6RwqexNA281I9oBFTfuLBBhaZ4IjBkFLYSMI6oAm5  
8IFcdjofj0z5jL0MqC/Yk1yW5UrGTwY0X0yxNwri3IQgjs+Qk/+zfdZTVuvrxO59CNCmoj3vCwj  
MfaUFOjRhrPHa4Wv0VV5OYgm1p+LW1eAAAA//8DAFBLAwQUAAYACAAAACEAFUqLIVMCAAC  
HwAAAGNsaXBib2FyZC9kcmF3aW5ncy9kcmF3aW5nMS54bWykVdtu2zAMfR+wfxD07tpOnYuL  
xMWAabi2a9QMUYmFyZlnKZdu2L+Pkp3GTyc9tHIIJlo84jkkIYurfS3QImnDlcxxfBZhxCRVJZfr  
HD99L4IJRsYSWRKhJMvxMzP46vLzpwuSrTVpKk4RIEiTkRxX1jZZGBpasZqYM9UwCWcrpWtiYav  
YanJDpBrEQ6iaBTWhEt8eYSaEUvQRvN3QAIFf7BySuSWGIAUNOtbuhwF/TgyyeT2VjeL5kG7zOm  
3  
7YNGvMwxKCdJDRlhsDvo3GAbnkStjwD7la6dv1qt0N6jPLtvj8H2FIEwXPNRNBxiROGoW7d3VPf/  
iKLV/L9xkEx7KSx6iZjGpSG3b5mdj6EJWm6PjElzrAVDznggeggxzR2UwSCpphV4sWvTgD/kDOEH  
k9ZqVzFSGmdupQENWwQv0xEMhF3uvqoSNCUbbq3ynvF+uF9oka7Sxt0zVyC1yrCFJD062d8a2C  
vCaq4Ej4skK<sup>+</sup>  
MgBma4FKQag7czXzLfw7jdL5ZD5JgmQwmgdJNjsF18U0CUZFPB7OzmfT6Sz+4+6N  
k6ziZcmku+YwTnHypldrTrUyamXPqKpDaBhO2WGkYKDi6DhQRgleOjiXktHr5VRotCUix4X/dMr3  
3MLXafieBS4nIOJBEt0M0qAYTcZBUiTDIB1HkyCK05t0FCVpMiteU7rjkn2cEtrIOB0Ohr5KvaRP  
uEX+85YbyWpumUaC1zmevDiRzDXiXJa+tjZw0a57Uj0j1JAuQ+FhqXpngC7X/jRsfsbVT47wZbv  
C82rFTQXPAvwwNp7+FojBTyo4A1GldK/Tm<sup>3</sup>



OD4oOjxjt4HHNsfm5lZphJL5ImJc0ThKAs36TDMcD  
2Oj+ybj/QiQFqBxbjNrl1MIOQjaN5usKboq9nFjdw3CteNf4be6OhTB2YZ8F8+p4hkyWD0STR+An  
YL5zzGTwtOj0Bg8Q5SjCxrBF496LdqBalbxs4HjyPvvQ7v/E/Qn095d/AQAA//8DAFBLAwQUAAYA  
CAAAACEAkn2H4B0HAABJIAAAGgAAAGNsaXBib2FyZC90aGVtZS90aGVtZTEueG1s7FILbxs3EL4  
6H9Y7L2xZL1il3JgyXLcxC9ESoocKYnaZcxdLkjKjm5FcuqlQIG06KEBeuuhKBqgARr00h9jwEGb  
/ogOuS9SoulHXCAobAHG7uw3w+HM7Mzs8M7dZxH1jjEXhMVtv3qr4ns4HrExiYO2/2iw/dlt3xMS  
xWNEWYzb/gwL/+7Gp5/cQesjSplhQ3w8CHGEPRAUi3XU9kMpk/WVFTECMhK3WIjjeDZhPEISbnr  
MuboBBal6MpqpdJciRCJ/Q2QKJWgHoV/sRSKMKK8r8RgLOYRrH4wmZAR1tjxUVUhxEx0KfeOEw3  
IHPMTgb4mfQ9ioSEB22/ov/8lY07K2g9Y6JyCa/Bt63/Mr6MYXy0qtfkwbBYtF5v1JubhXwNoHIR  
12v1mr1mlU8D0GgEO011sWW2Vrv1DGuA0kuH7K3WVq1q4Q35tQWdNxvqZ+E1KJvfx8Bvb3f  
g1J8YwHf6Kx1tmz5GpTimwv4VmVzq96y5GtQSEI8tICuNjq1br7bAjJhdMcyjX2vUt1urmfASBdFQ  
RjdaYsjiuSzWlvSU8W0AKCBFksSenCV4gkYQk11EyZATb5cEIQRegmlmgFzrWxXavBf/er6SnsU  
rWNkcCu9QBOxQFL6eGLESSLb/n2Q6huQs7dvT5+/OX3+++mLF6fPf83W1qlsvh0UBybf+5++  
l97fv/34/uW36dLzeGHi3/3y1bs//vyQeNhxaYqz716/e/P67Puv//r5pUP6JkdDEz4gERbePj7x  
HrIIlNujQHw/55TgGISlmx2YcCBQjtYpDfk+  
GFnp/hihy4DrYtuNjDqnGBbw3fWop3A/5VBKHxAdh  
ZAH3GKMdxp1WeKDWMsw8mMaBe3E+NXEPETp2rd1FseXl3jSBHEtclrshttQ8pCiWKMAxlp56x  
duzuCSGWXffliDPBjtj7QrwoIk6TDMjQiqSaYdE4JeZS0Hwt2Wbvcdeh1HXrrfwsY2EdwNRh/ID  
TC0z3kNTiSKXyAGKqGnwXSRDI5L9GR+Zuj6Q4OkAU+b1xlgIF88Bh/0aTn8Aacbt9j06i2wkl+TI  
JXXMwYit9hRN0RR4sL2SRya2M/FEYQo8g6ZdMH3mP2GqHvwa4qXuvswZa7z88GjyDDmiqV  
TLnDI/cws+K3P6MThF2pZpNHVord5MQZHZ1pYIX2LsYUnaAxxt6jzx0adPhi2bxU+n4IWWUHu  
PrjVd3HWGBPNzeLeXKXCctk+zhgS/TZm80lnhmKI8SXsd4Hr5s270Gpi1wBcEBHRyZwn0C/B/H  
NMqBABIGcC+Vehgiq4Cpe+GO1xm3/HeRdwzey6eWGhd4L4EHX5oHErvj80HbDBC1FigDZoCg



W2Cx3F+yqOKq2aZOvon90pZugO7lanoiEp/bAc31Po3/rveBDuPsh1eOl+16+h23YctZXbLTWZ  
dub6m2W4+a6my/iYfPxNzRaaxocY6shixrrpaW56Gv9/39Mse59vOplI/cZNJ+NDh3HTyWTDlevp  
ZMrmbfoaNfBIBz167BMtnfpMCKV9OaN4V+jBj4DvmfE2EBWfnm7iYgqYhHCpyhwsYOECjjSPx5r  
gsiwH6IEpkNVXwkjRcY6EF7CBAYNNNkpW+HpNNpj43TYWa2qwWZaWQWSJb3SKOgwqJlputkq  
eK1toAetuQKK9zjKGIvZStQcSrRyojKSHuuC0RxK6j1dixZrDi1uK/G5qxa0ANUKr8AHtwef6W2/  
UQcWYIJ5HDTnY+Wn1NW5d7Uzr9PTy4xpRQA02HkElj5eU7ou3Z7aXRpqF/C0pYQRbrYS2jK6wF  
fAZn0amoF1Hjsr5eK11qqadModeD0CrVaN3+kBZX9TXwzecGGpuZgsbeSdtv1hoQMioUtP0JDIE  
MkogdoT65kI0gOOWkeTpC3+VzJjwlbeQCFOD66STZoOISMw9SqK2r7ZfulHGOodo3aqrkBA+W  
IK18bMqB020n48kEj6TpdoOiLj3eQoZPc4XzqWa/Olhxsim4ux+OT7whnfKHCEKs0aoqA46JgLOD  
amrNMYHDsCKRlfE3V5iytGueRukYSumIjHKKoqZzFO4TuWFOvqusIFxl+0ZDGqYJCuEw0AVWN  
VjUtqkaqw9Kqez6TspyRNMuaaWUVVTXdWcxalS8Dc7a8WpE3tMpNDDnNrPBp6p5PuWt5rpvrE  
AQYv7OeouhcoCIZq5WKWakrjxTSscnZGtWtHvsFzVLtkTCyfjMXO2e3okY4lwPilSo/8M1HLZAm  
eV+pLe062N5DiTcMqm0fDpdhOPgMrub42gfaqqKtKhpcwZkzllv0oLjtZxc5BZ6nlAJTyym1HFPP  
KfWc0sgpjZzSzCIN39MnqnCKrw5TfS8/MIUalh2wZr2Fffq/8S8AAAD//wMAUESDBBQABgAIAAAA  
IQCcZkZBuWAAACQBAAAqAAAAY2xpcGjvYXJkL2RyYXdpbmdzL19yZWxzL2RyYXdpbmcxLnhtb  
ZWxzhl/NCslwEITvgu8Q9m7SehCRJr2I0KvUBwjjNi02PyRR7Nsb6EVB8LIws+w3s037sjN5YkyT  
dxxqWgFBp7yenOFw6y+7I5CUpdNy9g45LjigFdtNc8VZ5nKUxikkUigucRhZDifGkhrRyKR9QFc2  
g49W5iKjYUGquzTI9IV1YPGTAeKLSTrNIXa6BtlvoST/Z/thmBSevXpYdPIHBMulFxaGjAYzB0pX  
Z501LV2BiYZ9/SbeAAAA//8DAFBLAQItABQABgAIAAAAIQC75UiUBQEAAAB4CAAATAAAAAAAAAA  
AAAAAAAAAABbQ29udGVudF9UeXBic10ueG1sUESBAi0AFAAGAAgAAAAhAK0wP/HBAAAAMgEA  
AAAAAAAAAAAAAAAAANgEAAF9yZWxzLy5yZWxzUESBAi0AFAAGAAgAAAAhABVKiyLzAgAApAYA  
AAAAAAAAAAAAAAAAAIAAAGNsaXBib2FyZC9kcmF3aW5ncy9kcmF3aW5nMS54bWxQSwECLQA  
CAAACEAkn2H4B0HAABJIAAAGgAAAAAAAAAAAAAAAAAABQBQAAY2xpcGjvYXJkL3RoZW1lL3RoZ



MS54bWxQSwECLQAUAAYACAAAACEAnGZGQbsAAAAkAQAAKgAAAAAAAAAAAAAAAAACIDAAAY  
YXJkL2RyYXdpbmdzL19yZWxzL2RyYXdpbmcxLnhtbC5yZWxzUESFBgAAAAFAAUAZwEAAKgN  
AA== " filled="f" stroked="f">

## **Symptômes de carence et d'excès en nutriments principaux et recommandations en matière de correction**

### **Azote (N)**

#### **Symptômes de carence**

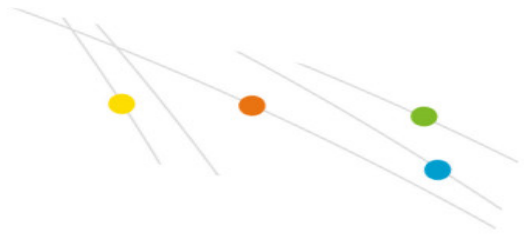
Une carence en azote se manifeste au début de la saison de culture, par une légère chlorose accompagnée d'une réduction de la taille des brindilles. En automne, la sénescence démarre plus tôt que la normale, les feuilles jaunissent et une exfoliation précoce suit. Cependant, des conditions de sécheresse produisent les mêmes symptômes. Une carence en azote est difficile à diagnostiquer parce que les arbres du verger sont semblables les uns aux autres.

#### **Correction de la carence en N**

Une carence en azote se corrige par un apport d'engrais azoté, appliqué au sol ou par fertirrigation.

### **Phosphore (P)**

#### **Symptômes de carence**



Une carence en phosphore est assez peu courante. Elle ne présente pas de symptômes caractéristiques, mais les arbres qui connaissent une forte carence en P grandissent moins et leurs feuilles sont d'une taille inférieure à la taille habituelle. Une carence en P se manifeste quand la teneur foliaire en P est inférieure à 0,1 % du poids sec. Sa disponibilité dans le sol dépend du pH de ce dernier. Par exemple, dans des solutions très acides (pH de 0 à 2), il se trouve sous forme de  $H_3PO_4$  ; à un pH de 2 à 7, sous la forme de  $H_2PO_4^-$  ; si le pH augmente pour atteindre 7 à 12, l'ion  $HPO_4^{2-}$  prédomine ; et à un pH supérieur à 13, il devient du  $PO_4^{3-}$ . Il n'a pas été observé de carence de ce type au Chili.

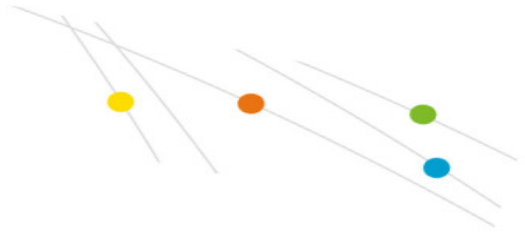
### **Correction de la carence en P**

Cette carence se corrige par l'application au sol de tout engrais au phosphore. Si les teneurs foliaires en P sont inférieures à 0,1 % du poids sec, de l'acide phosphorique ( $H_3PO_4$ ) peut être appliqué par fertirrigation.

### **Potassium (K)**

#### **Symptômes de carence**

Comme chez d'autres fruits à noyau (tels que les prunes, les pêches et les nectarines), une carence en potassium est peu courante au Chili et, si elle survient, elle ressemble à une carence en azote. Les feuilles nouvelles qui connaissent une carence en K présentent des symptômes au début de l'été. Elles se décolorent, et la taille des feuilles et la longueur des branches sont inférieures. Une carence légère ne permet pas d'observer de symptôme flagrant et seule une analyse des feuilles permet



de la détecter. Une telle carence est dite « cachée ». Une carence en potassium est assurément liée à trois problèmes affectant les racines. Chez les bourgeons les plus vigoureux, la marge des feuilles peut être nécrotique et la taille des fruits diminuée.

### **Correction de la carence en K**

Une carence en potassium se corrige par l'application au sol de nitrate de potassium ( $\text{KNO}_3$ ), de sulfate de potassium ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) ou de chlorure de potassium (KCl) sous forme granulaire. Il est également possible de procéder à des pulvérisations de nitrate de potassium ( $\text{KNO}_3$ ), à raison de 10 kg pour 1000 L d'eau. Le chlorure de potassium (KCl) ne doit pas être appliqué par pulvérisation sur les jeunes arbres, en raison de leur sensibilité à la brûlure. Ou alors, il est possible d'appliquer tout engrais potassique soluble, ou engrais NKP, par fertirrigation.

### **Calcium (Ca)**

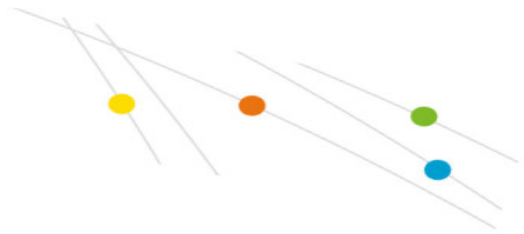
#### **Carence**

Il n'a pas été observé de carence en calcium des amandiers au Chili.

### **Magnésium (Mg)**

#### **Symptômes de carence**

Une carence en magnésium peut être associée à un pH faible du sol (acide). Les symptômes apparaissent au milieu ou à la fin de l'été. Les feuilles basales, en particulier les branches vigoureuses, sont atteintes de chlorose à leur apex et sur les bords, et la sénescence les touche précocement. Les carences en magnésium sont



assez peu courantes au Chili.

## Correction de la carence en Mg

Il est possible de corriger une carence en magnésium par une application de sulfate de magnésium ( $MgSO_4$ ) hautement soluble par fertirrigation. Ou alors, les arbres peuvent être aspergés au début de la saison de culture au nitrate de magnésium [ $Mg(NO_3)_2$ ].

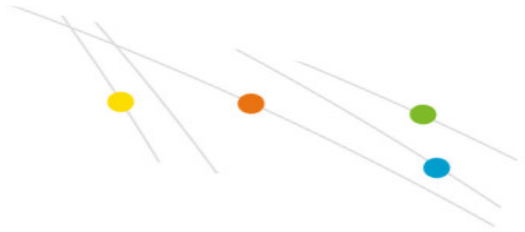
## Zinc (Zn)

### Symptômes de carence

Une carence en zinc se produit en cas d'utilisation continue de fumier de poulet, et/ou si le pH du sol est alcalin, supérieur à 7,5. Les symptômes apparaissent au début de la saison de culture. La floraison et le développement des bourgeons végétatifs sont retardés. En cas de carence sévère, l'extrémité des branches meurt (elle « dépérit ») ; les feuilles sont petites et pointues (« petites feuilles »), formant une rosace. En cas de carence moins sévère, les feuilles sont d'une taille légèrement inférieure à la normale et présentent une chlorose internervaire. Quand ces feuilles sont tendres, les marges peuvent être enroulées. Les fruits connaissent une réduction notable de leur taille et de leur qualité. Cette carence touche les plantations en terrain sableux. Les carences en zinc des amandiers sont plutôt courantes au Chili, en particulier dans les plantations en terrain sableux.

## Correction de la carence en Zn





Il est possible de corriger cette carence par une pulvérisation foliaire de sulfate de zinc ( $\text{ZnSO}_4$ ) à une concentration de 0,3 % (300 g pour 100 L d'eau). Si le pH de cette solution doit être neutralisé, il est nécessaire de préparer la solution suivante : dissoudre 1 kg de soude caustique (NaOH) dans 1 litre d'eau puis prélever 30 ml de cette solution et les ajouter à 100 L de solution de  $\text{ZnSO}_4$ . Ou alors, pulvériser la même solution de  $\text{ZnSO}_4$ , sans la neutraliser, en automne avant la chute des feuilles.

## **Manganèse (Mn)**

### **Symptômes de carence**

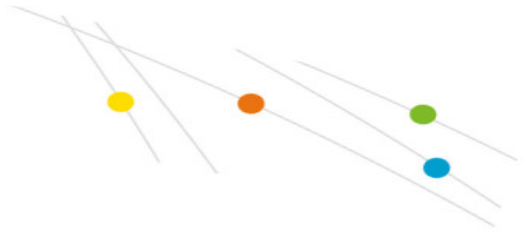
Les carences en manganèse sont peu courantes. Quand cela se produit, les feuilles sont atteintes de chlorose, comme en cas de carence en azote. De petites zones chlorotiques apparaissent sur les feuilles, avec des marbrures qui rappellent une carence en zinc. Une carence en Mn n'affecte pas la taille des fruits.

### **Correction de la carence en Mn**

La disponibilité du manganèse dépend du pH, donc les sols alcalins doivent être acidifiés au moyen de soufre (S) appliqué au sol, autour de l'arbre. Une autre méthode d'acidification est d'appliquer de l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) de manière contrôlée, par fertirrigation, à raison de 18-25 kg/ha/an. Cette acidification du sol augmente également la disponibilité du zinc.

## **Fer (Fe)**

### **Symptômes de carence**



Cette carence est associée à un pH élevé du sol. Les carences en fer sont sporadiques. Quand cela se produit, les feuilles deviennent chlorotiques au début de la saison de culture puis jaunissent complètement. Cette chlorose peut disparaître au fil de la saison. Dans des cas similaires, les feuilles chlorotiques présentent des brûlures puis une abscision.

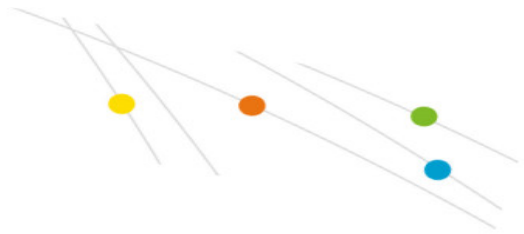
### **Correction de la carence en Fe**

Cette carence se corrige par un abaissement du pH du sol en l'acidifiant au soufre (S) appliqué au sol, autour de l'arbre. Une autre méthode d'acidification est d'appliquer de l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) de manière contrôlée, par fertirrigation, car le pH agit sur le fer.

### **Bore (B)**

#### **Symptômes de carence**

Les branches terminales présentent des brûlures puis « dépérissent ». L'apex et les bords des branches les plus vigoureuses se nécrosent. Leur écorce craquèle et devient poudreuse. Cet aspect poudreux se manifeste sur les feuilles également. L'année suivante, les bourgeons situés près de la zone affectée produisent des branches en rosace. Les fruits présentent une gommose (exsudat de résine) à la surface de leur coque. En novembre-décembre (dans l'hémisphère Sud, ce qui correspond à mai-juin dans l'hémisphère Nord), la chute des fruits est abondante. Les feuilles sont plus petites qu'habituellement, elles se recourbent vers le haut et tendent à tomber. Dans les cas sévères, une perte totale de la récolte peut arriver. La



taille des fruits est réduite.

## **Correction de la carence en B**

Une carence en bore se corrige après la récolte, en aspergeant le feuillage de tout produit à forte teneur en bore tel que l'acide borique ou l'octaborate de sodium, connu sous le nom de « Solubor » (1 kg pour 1000 L d'eau). Le plus efficace est de pulvériser sur un feuillage jeune et tendre suffisamment abondant. Ce traitement produira son effet uniquement la saison suivante. Une autre méthode de correction est l'application de borax (B à 11 %) au sol à raison de 50 kg/ha. Ou alors, il est possible d'appliquer de l'acide borique par fertirrigation.

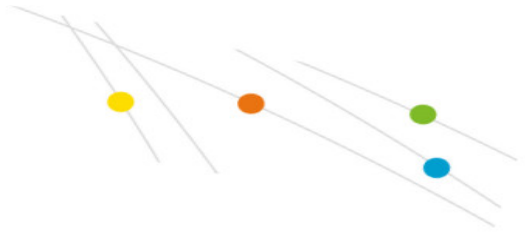
## **Cuivre (Cu)**

### **Symptômes de carence**

Les symptômes d'une carence en cuivre apparaissent en été. Les feuilles terminales deviennent chlorotiques, puis brûlent et tombent précocement. Les parties terminales des branches « dépérissent ». Les arbres ont l'air d'arbustes. L'écorce des troncs devient sombre et rugueuse. Chez le cultivar *Non Pareil*, une importante gommose (exsudation résineuse) apparaît avant le débourrement.

### **Correction de la carence en Cu**

Quand l'analyse foliaire indique une valeur inférieure à 4 ppm du poids sec, et/ou si des symptômes clairs se manifestent, cette carence doit être corrigée. La correction est effectuée par l'application au sol de sulfate de cuivre ( $\text{CuSO}_4$ ) à raison de 2



kg/arbre, ou de Cu-EDTA à raison de 300 g/arbre. Une carence en Cu peut également être corrigée après la récolte.

### **Toxicité au chlorure (Cl<sup>-</sup>) et/ou au sodium (Na)**

Un excès de chlorure et un excès de sodium provoquent des symptômes similaires, tels qu'une chlorose et une nécrose de l'extrémité des feuilles (« brûlure des pointes »). Plus la toxicité est sévère, plus la zone nécrotique est vaste. Le pic est normalement atteint vers la fin de la saison d'activité des arbres. Il est nécessaire d'effectuer une analyse des feuilles pour établir quel est l'élément à l'origine de ces symptômes. Des teneurs en chlorure et en sodium supérieures à 0,3 % et 0,25 %, respectivement, sont considérées excessives.

Avant de planter, il est souhaitable d'analyser le sol et l'eau d'irrigation. Il existe des recommandations qui définissent les valeurs des paramètres d'analyse pour évaluer le risque de survenue chez différents arbres fruitiers, concernant le sol comme l'eau d'irrigation.