

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE**

**وزارة التعليم العالي و البحث العلمي**

**INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE**

***EL HARRACH***

**المعهد الوطني للعلوم الفلاحية  
الحراش**

**Mémoire présenté  
en vue de l'obtention du diplôme de Magister en sciences agronomiques**

**Option : pédosphère**

**THEME**

**Evaluation de l'état nutritionnel en éléments majeurs secondaires  
d'un verger agrumicole de la plaine de la Mitidja.**

**Jury :**

**Présenté par : M<sup>elle</sup> BENAOUA LALAHOUM**

**Président : M. DJILI K.**

**Professeur.**

**Promoteur : M. DAOUD Y.**

**Professeur.**

**Examineur : M. DRIDI B.**

**Maître de conférence.**

**Examineur : Mm. KOURGLI N. Chargée de cours.**

**Année universitaire : 2005 –2006**

## DEDICACES

Je dédie ce travail à mes très chers parents pour leur soutien et sacrifices qu'ils ont consenti envers moi.

Mes très chers frères et sœurs.

Mes chers neveux et nièces.

Mes beaux frères et belles sœurs.

Tous mes amis(ies), chacun par son nom.

## Remerciements

Grâce à dieu le tout puissant, qui m'a donné le courage et la volonté, ce mémoire est achevé.

Il m'est très agréable en cette heureuse occasion d'exprimer mes plus vifs remerciements à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont participé à l'élaboration de ce travail.

D'abord à mes très chère parents qui n'ont cessé de m'aider et de m'encourager durant toutes mes années d'études, à tout les professeurs et les enseignements qui ont contribué à ma formation, surtout M. DAOUD Y., enseignant et promoteur, pour son suivi, ses aides, ses précieux conseils et sa grande patience durant le travail.

A M. DJILI K., enseignant et qui m'a fait l'honneur de présider ce jury.

A M. DRIDI B. enseignant et Mm. KORGLI N., d'avoir accepté de siéger au sein du jury.

Mes remerciements vont également aux responsables de la station de démonstration de l'ITAFV (Tessala El Merdja) qui nous ont permis de réaliser ce travail.

Je tiens à remercier aussi, la responsable du laboratoire de science du sol, ainsi que tous les techniciens, de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) de Berraki, qui nous été d'une grande aide.

Sans oublier le responsable du laboratoire de sciences du sol de l'institut d'agronomie de l'université de Blida M. REZZIG A.

Je remercie aussi les personnels de la bibliothèque centrale de l'INA, et les personnels de la bibliothèque de l'institut d'agronomie de Blida ainsi que la responsable de la bibliothèque de l'ITAFV (Tessala El Merdja) et la responsable de la bibliothèque de l'INRA (El Harrach).

Un grand remerciement à mon amie Mm REZZOUG Z. née OTMANI, pour son aide dans le travail au champs et au laboratoire.

## Résumé

Les agrumes constituent, l'une des trois productions fruitières les plus importantes dans le monde.

En Algérie l'agrumiculture passe par une période critique, avec un rendement moyen de 10 tonnes/ha, ce rendement est faible par rapport à la moyenne mondiale qui est de 20 tonnes/ha. Ces faibles rendements s'expliquent par la mauvaise gestion des différentes techniques de production et par le vieillissement du verger agrumicole.

Le diagnostic foliaire est un outil indispensable pour le contrôle et le suivi de l'état nutritionnel d'un verger et pour corriger éventuellement la fumure. L'analyse foliaire est complémentaire à l'analyse du sol.

Dans notre travail nous avons essayé d'évaluer l'état nutritionnel en éléments majeurs secondaires d'un verger d'agrumes de la plaine de la Mitidja. Dont les résultats obtenus ont permis de constater que les teneurs foliaires en calcium et en magnésium sont à l'optimum alors que la teneur foliaire en sulfates montre que le verger est déficient en sulfates.

L'effet de l'espèce et du porte greffe sur les teneurs foliaires en calcium, en magnésium et en sulfates n'est pas significatif.

L'analyse du sol aboutit à des teneurs en calcium, en magnésium et en sulfates à l'optimum.

Il n'y a pas de corrélation significative entre les teneurs foliaires en calcium, en magnésium et les sulfates, et les teneurs du sol en ces éléments.

Mots clés : agrumes, diagnostic foliaire, état nutritionnel, calcium, magnésium, soufre.

## Summary

Citrus fruits constitute, one of the three fruit production most important in the world.

In Algeria the citrus production passes by a critical period, with a middle output of 10 tonnes/ha, this output is weak in relation to the world average that is of 20 tonnes/ha. These weak outputs is explain by the bad management of the differents techniques of production and by the ageing of the citrus orchard.

The leaf analysis is an indispensable tool for The control and the follow-up the nutritional state of an orchard and correct the manure possibly. The leaf analysis is complementary to the analysis of soil.

In our work we tried to value the nutritional state of the secondary major elements of an orchard of citrus of the plain of Mitidja. The results permitted us noted that the leaf contents in calcium and magnesium is to the optimum whereas the leaf content in sulphates is below the optimum. The orchard is deficient in sulphats.

The effect of the species and of the carries transplants on the leaf contents in calcium, in magnesium and in sulphats is not meaningful.

The analysis of soil indicates that our soil has contents in calcium, in magnesium and in sulphats to the optimum.

There is not a meaningful interrelationship between the leaf contents in calcium, in magnesium and the sulphats, and the contents of soil in these elements.

Key words: citrus, leaf analysis, nutritional state, calcium, magnesium, sulphats.

## ملخص

تعتبر الحمضيات من بين أهم المنتوجات الأولى في العالم، مع زراعة التفاح و الموز.

إن زراعة الحمضيات في الجزائر تمر بفترة صعبة، المردود في الهكتار الواحد (10 طن) بعيد جدا عن المعدل العالمي الذي يقدر بحوالي 20 طن. إن سبب هذا المردود الضعيف يعود إلى عدة أسباب من بينها عدم الاهتمام بالتقنيات المناسبة كالري، استعمال الأسمدة بطريقة ملائمة، التقليم و مكافحة الأمراض خاصة عن طريق المبيدات. بالإضافة إلى هذا، أغلبية بساتين الحمضيات الجزائرية متقدمة في السن.

يعتبر تحليل أوراق الأشجار أداة أساسية من أجل مراقبة و متابعة الحالة الغذائية لبستان الحمضيات و تحديد كمية الأسمدة اللازمة. إن تشخيص الحالة الغذائية عن طريق تحليل الأوراق، مكمل لتحليل التربة.

من خلال هذا العمل حاولنا أن نحدد الحالة الغذائية لبستان الحمضيات بسهل متيجة، و لهذا الغرض قمنا بتحليل المواد المعدنية الأساسية الثانوية (الكالسيوم، المغنيزيوم و الكبريتات). النتائج أظهرت أن نسبة الكالسيوم و المغنيزيوم كبيرة، نسبة الكبريتات تحت المستوى. نستنتج أن البستان يعاني من نقص في الكبريتات.

لم نلمس من خلال النتائج أي تأثير لصنف الأشجار و حامل الطعم على نسبة الكالسيوم، المغنيزيوم و الكبريتات في الأوراق.

إن نتائج تحليل التربة تبين أن نسبة الكالسيوم، المغنيزيوم و الكبريتات في المستوى.

كما أننا نستنتج أنه لا توجد علاقة في نسبة الكالسيوم، المغنيزيوم و الكبريتات بين الأوراق و التربة.

الكلمات المفتاح: الحمضيات، تحليل الأوراق، الحالة الغذائية، الكالسيوم، المغنيزيوم، الكبريتات.

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
--------------------------	----------

## **CHAPITRE I. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

1. La production agrumicole mondiale.....	3
2. La production agrumicole en Algérie.....	5
3. La fertilisation minérale des agrumes.....	6
3.1. Rôles des principaux éléments.....	6
3.2. Les symptômes de carence en éléments nutritifs.....	7
3.3. Les interaction entre éléments.....	8
3.4. La pratique de la fumure.....	8
4. Evaluation de l'état nutritionnel des agrumes par le diagnostic foliaire.....	10
4.1. Les principales méthodes d'échantillonnage.....	10
4. 2. Interprétation des résultats d'analyses.....	11
4. 3. Influence des différents facteurs sur la composition minérale des feuilles.....	12
5. L'état nutritionnel des vergers agrumicoles algériens.....	14
Conclusion.....	16

## **CHAPITRE II. MATERIELS ET METHODES**

1. Matériel d'étude.....	18
1.1. La parcelle.....	18
1.2. Le matériel végétal.....	18
1.3. Le sol.....	20
2. Méthodes d'étude.....	21

2.1. Le végétal.....	21
2. 1. 1. L'échantillonnage.....	22
2. 1. 2. Méthodes d'analyse.....	22
2.2. Le sol.....	23
2. 2. 1. Méthode d'échantillonnage.....	23
2. 2. 2. Méthodes d'analyse du sol.....	23
3. Les conditions climatiques.....	24
4. La conduite du verger.....	25

### **CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSIONS**

1. Evaluation de l'état nutritionnel des arbres.....	26
1.1. Les teneurs foliaires en calcium.....	26
1.2. Les teneurs foliaires en magnésium.....	26
1.3. Les teneurs foliaires en sulfates.....	31
Discussion et conclusion.....	31
2. Influence de l'espèce sur l'état nutritionnel.....	34
2.1. Les teneurs foliaires en calcium.....	34
2.2. Les teneurs foliaires en magnésium.....	35
2.2. Les teneurs foliaires en sulfates.....	38
Discussion et conclusion.....	38
3. Influence du porte-greffe sur l'état nutritionnel.....	40
3.1. Effet du porte-greffe sur la teneur en calcium.....	40
3.2. Effet du porte-greffe sur la teneur foliaire en magnésium.....	42
3.2. Effet du porte-greffe sur la teneur foliaire en sulfates.....	44

Discussion et conclusion.....	46
4. Evaluation de l'état de fertilité du sol.....	47
4.1. la caractérisation du sol.....	47
4.2. La teneur en éléments dans le sol.....	48
4.2.1. La teneur du sol en calcium assimilable.....	48
4.2.2. La teneur du sol en magnésium assimilable.....	51
4.2.3. La teneur du sol en sulfates assimilables.....	51
Discussion et conclusion.....	56
5. Relation entre l'état nutritionnel et l'état de fertilité du sol.....	57
5.1. Le calcium.....	57
5.2. Le magnésium.....	59
5.3. Les sulfates.....	61
Discussion et conclusion.....	63
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>64</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	

## INTRODUCTION

Les agrumes sont, avec les pommes et les bananes, l'une des trois productions fruitières les plus importantes dans le monde (SALETTE, 2000).

Le terme agrume correspond à trois genres botaniques, *Citrus*, *Poncirus* et *Fortunella*. Ils appartiennent à la famille des Rutacées.

L'ancienneté de la culture ne permet pas de définir précisément leur zone d'origine. Le principal centre d'origine se situerait sous une ligne allant du Nord-Est de l'Inde au Nord de la Birmanie et au Sud de l'île de Hainan (GIAMMARI, 1995). Parmi leurs zones de culture les plus importantes, le bassin méditerranéen se situe au second rang et présente une grande diversité de conditions pédo-climatiques, il est spécialisé dans la production de fruits frais (JACQUEMOND et CURK, 2000).

Les agrumes sont considérés comme des arbres de climats chauds, ils craignent en effet les gelées et leur culture se trouve limitée entre les 40<sup>0</sup> parallèles Nord et Sud (ITAF, 1995). Les basses températures hivernales et printanières sont souvent un facteur limitatif à l'extension de leur culture (LOUSSERT, 1987). Concernant la pluviométrie, les agrumes ont des besoins élevés en eau, il est souvent nécessaire d'irriguer pendant les périodes estivales. Les sols perméables et bien aérés conviennent à la culture des agrumes.

Pour surveiller l'état nutritionnel des agrumes, il est nécessaire d'évaluer périodiquement les teneurs en éléments minéraux du sol et de l'arbre (SOING et VAYESSE, 1999). Selon KENGUE (2001), la préconisation d'une bonne fumure minérale passe par l'analyse du sol et l'analyse (ou le diagnostic) foliaire. La fertilisation des agrumes est nécessaire pour obtenir une production importante de fruits de bonne qualité et pour entretenir un bon état végétatif du verger (GAGNARD et al., 1988).

L'agrumiculture algérienne passe par une période critique, avec un rendement moyen de 10 tonnes/ha, ce rendement est faible par rapport à la moyenne mondiale qui est de 20 tonnes/ha (MA, 1985). Ces faibles rendements s'expliquent par l'absence ou l'inadaptation des différentes techniques de production, le vieillissement du verger agrumicole dont

l'âge moyen était de 37.7 ans en 1985, le déficit hydrique, et les nombreuses maladies (PRALORAN, 1971 ; YOUNSI, 1990).

En Algérie, la fertilisation est pratiquée d'une façon empirique et sans études préalables des caractéristiques physiques et chimiques du sol et des besoins des plantes, elle est parfois absente (MA, 1972). Selon un rapport du ministère de l'agriculture (1985), c'est sur 38 528 ha que la fumure minérale est utilisée par rapport à l'ensemble du verger. Cependant, seuls 5.8 %, soit 2 233 ha du verger, reçoivent une fertilisation correcte, c'est à dire en quantité suffisante et à la bonne période. Les 56 295 ha restant sont mal fertilisés.

Le diagnostic foliaire est un outil indispensable pour apprécier l'alimentation annuelle d'un verger et corriger éventuellement la fumure (FAEDY, 2003). En Algérie, la pratique du diagnostic foliaire a commencé sur le verger de la station expérimentale de Boufarik en 1974, puis s'est généralisée aux vergers de la Mitidja et du sahel. Différents travaux ont été effectués pour la détermination de l'état nutritionnel des vergers d'agrumes en utilisant le diagnostic foliaire, notamment ceux de IDAF(1976), HAMDI PACHA (1976), KHELIL( 1978), (SAADI, 1983), BERKANE(1991), GHEZALI(1993).

L'état nutritionnel actuel du verger agrumicole de la Mitidja n'est pas connu, le dernier travail est celui de GHEZALI (1993). Le rôle de l'état nutritionnel dans la faiblesse des rendements n'est pas bien identifié.

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'état nutritionnel d'un verger d'agrumes à la station de démonstration de l'ITAF (Tessala El Merdja). Il s'agit d'évaluer l'état nutritionnel en éléments majeurs secondaires de différentes espèces et variétés d'agrumes greffées sur trois porte-greffes différents dans la Mitidja centre.

# CHAPITRE I. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## 1. La production agrumicole mondiale

les agrumes couvrent essentiellement les régions méditerranéennes et tropicales. Historiquement, la production s'est développée aux Etats-Unis d'Amérique et en Méditerranée. Elle a ensuite connu un grand développement au Brésil et se développe en Asie (GRIFFON et LOEILLET, 2000) (tableau I). D'après ces mêmes auteurs, la production mondiale des agrumes frais a doublé en 25 ans, passant de 8 millions de tonnes (Mt) en 1970 à 93 millions de tonnes en 1998.

Tableau I. Evolution de la production d'agrumes entre 1970 et 1998 (en milliers de tonnes) (GRIFFON et LOEILLET, 2000).

Ensembles géographiques	Production en milliers de tonnes	
	1970	1998
Hémisphère Nord		
Etat-Unis	11.9	20.0
Méditerranée dont :		
Espagne	2.7	5.8
Maroc	0.8	1.6
Turquie	0.8	1.3
Italie	2.7	3.2
Japon	3.7	1.5
Chine	0.7	9.5
Mexique	2.0	5.4
Cuba	0.2	0.8
Hémisphère sud		
Argentine	1.4	2.5
Brésil	7.4	20.6
Uruguay	<0.1	0.3
Australie	0.4	0.6
Afrique du Sud	0.6	1.2

Le marché international des agrumes repose sur quelques grandes bases. La production d'agrumes peut schématiquement être séparée en deux blocs, les Etats-Unis et le Brésil qui dominent le marché et qui destinent une grande partie de leur production à la transformation sous forme de jus. Le bassin méditerranéen produit des agrumes pour alimenter

essentiellement le marché international de fruits frais (LOEILLET, 1999).

La production relative mondiale par espèce est la suivante :

- Oranges : 71%
- Citrons : 13%
- Mandarines, clémentines : 10%
- Pomélos : 6%

Les oranges représentent l'espèce du genre Citrus la plus importante tant par le nombre de variétés qu'elle renferme, que par l'importance de sa production. Selon la forme et la coloration des fruits, les variétés des oranges sont classées en quatre groupes :

- Les oranges blondes Navel
- Les oranges blondes
- Les oranges sanguines
- Les oranges sans acidité.

Les mandariniers constituent un ensemble d'espèces que l'on peut différencier, selon (LOUSSERT, 1985), comme suit :

- Les mandariniers satsuma
- Les mandariniers communs
- Les clémentiniers
- Les autres mandariniers et les mandariniers hybrides

D'après KUATE (1998), beaucoup de variétés de mandariniers hybrident librement avec d'autres espèces de Citrus, plusieurs variétés hybrides ont été ainsi développées à signification commerciale. Les clémentiniers résultent d'une hybridation découverte en 1902 par le père Clément près d'Oran.

Le citronnier est sensible aux températures négatives, il ne résiste que jusqu'à -3 à -5°C, il serait originaire du cachemire, l'arbre supporte mal la sécheresse et a de grands besoins en éléments nutritifs. La variété Euréka est la plus cultivée dans le monde et en Algérie. Elle est productive.

Les pomelos sont en général des arbres de grande taille, à feuillage dense, cachant souvent les fruits.

Concernant les porte-greffes, le bigaradier est le porte greffe traditionnel des régions Sud. Il est sensible à la tristeza, mais résistant au calcaire. Le Poncirus trifoliata est également utilisé comme porte-greffe, ce Citrus à feuilles caduques résiste à des températures allant jusqu'à -30°C, il confère donc à l'arbre de bonne qualité de résistance au froid. C'est le porte-greffe utilisé en sol acide et en régions froides. Les citranges (troyer et carrizo), sont des Citrus à orange amère, ils possèdent

beaucoup d'épines et un tronc très droit, ils se comportent mal en sol calcaire, mais donnent de belles récoltes ailleurs. Le mandarinier Cléopâtre est résistant à la tristeza et à l'exocortis, il tolère également des taux assez élevés de calcaire, sa résistance aux sels est supérieure à celle du bigaradier.

## **2. La production agrumicole en Algérie**

le verger agrumicole Algérien est particulièrement concentré dans les plaines littorales et sublittorales où les conditions de sol et de climat sont les plus favorables. Les principales zones agrumicultures sont localisées, selon (YOUNSI, 1990) ainsi :

- la plaine de la Mitidja
- le périmètre de la Mina et du Bas Chélif
- le périmètre de l'Habra
- la plaine de Annaba
- la plaine de Skikda

D'après les Statistiques Agricoles (2003), le nombre d'arbres plantés régresse en passant de 14.9 millions d'arbres en 1970 à 13.2 arbres en 1985, le taux de renouvellement est donc inférieur au taux d'arrachage. Corrélativement, l'âge du verger augmente en passant de 27.1 ans en 1970 à 37.7 ans en 1985. L'indice de rendement diminue de 100 en 1970 à 95.1 en 1985. Globalement, la production Algérienne a diminué de 4.9 % en l'espace de 15 ans.

L'Algérie utilise un nombre élevé de variétés avec une prédominance de variétés de faible valeur commerciale qui représentent plus de 50% de la superficie totale des agrumes (YOUNSI, 1990).

L'agrumiculture algérienne produit actuellement un rendement moyen de l'ordre de 10 tonnes /ha (Statistiques Agricoles, 2003), ce qui est faible par rapport à la moyenne méditerranéenne qui est de 20 tonnes par hectare. Ces faibles rendements s'expliquent par la mauvaise gestion des différentes techniques de production, le vieillissement des vergers agrumicoles, ainsi que l'état sanitaire déplorable.

En effet, la quasi totalité des vieilles plantations est affectée par une ou plusieurs maladies transmissibles (maladies à virus, à viroïdes ou à mycoplasmes). Selon les statistiques agricoles de 2003, même si le rendement a diminué, la production des agrumes en Algérie est passée de 280 000 tonnes en 1990 à plus de 432 000 tonnes en 2000. Cette augmentation est due à l'extension de la superficie cultivée en agrumes. Cette dernière a été de 37 740 ha en

1990, elle a atteint 46 010 ha en 2000. L'évolution de la production est donnée par le tableau II.

Tableau II. Evolution de la production agrumicole algérienne en tonnes (Statistiques Agricoles , 2003).

Années	Total	oranges	mandarines	clémentines	citrons	pomelos
1990	280953	183830	22323	59960	11921	2919
1991	323570	221965	15378	75618	9203	1406
1992	361889	251937	16082	75993	15595	2282
1993	360833	249842	16664	72574	19254	2499
1994	375990	252878	20549	78976	21177	2410
1995	322744	226716	17839	60043	15666	2484
1996	333744	236724	17138	63188	14538	2156
1997	350404	243284	17537	72659	15441	1483
1998	417989	280393	19345	91550	25314	1384
1999	453555	307349	20225	95262	29082	1637
2000	432635	299583	18267	84125	29281	1379

De 1990 à 1997, la production a connu une faible variation. En 1998, il a eu une croissance de la production qui a peu varié par la suite. Les oranges représentent plus de 50% des variétés produites.

### **3. La fertilisation minérale des agrumes**

#### **3.1. Rôles des principaux éléments**

L'azote est l'élément qui stimule la croissance des plantes en contribuant à la formation des protéines et de la chlorophylle. Le phosphore est essentiel à la formation des racines, il favorise l'absorption de l'eau, accroît la résistance aux maladies et accélère la maturité des fruits. Le potassium joue un rôle important dans la synthèse active de la floraison et augmente la résistance des plantes au froid. Le calcium est l'un des constituants de la paroi cellulaire, son rôle est prépondérant dans les méristèmes apicaux par son action sur la division cellulaire, il active

l'évaporation et stimule la formation des racines. Le magnésium est un constituant majeur de la molécule de chlorophylle, il aide à l'absorption et à la migration du phosphore. Le soufre intervient dans la constitution des protéines et des vitamines (GENEST, 2002).

### **3.2. Les symptômes de carence en éléments nutritifs**

Les symptômes de carences en azote se manifestent par une hauteur réduite de l'arbre, une taille réduite des feuilles et un jaunissement, apparaissant d'abord sur les vieilles feuilles, le jaunissement débute à la pointe de la feuille et se développent le long des bordures.

Les symptômes visuels de carence concernant le phosphore sont un ralentissement de la croissance, les plantes sont chétives et ont un aspect rigide, les feuilles âgées sont d'abord verte foncé, puis rouge violet, la tige peut également prendre une couleur rougeâtre.

Pour le potassium, les carences se manifestent sur les feuilles qui sont d'abord vert brunâtre, puis peuvent prendre une coloration rouge brunâtre, une chlorose apparaît et se développe à partir du bord des feuilles âgées, qui rapidement finissent par dépérir, les plantes manquent de turgescence et flétrissent. Les feuilles se recourbent ou s'enroulent.

En Algérie on ne rencontre jamais de déficiences en calcium, car les sols en contiennent des quantités importantes (KHELIL, 1989).

Les symptômes de carence en magnésium sont caractéristiques sur les feuilles. Il ne reste qu'un triangle vert situé à la base de la feuille et à cheval sur la nervure centrale, la partie décolorée prend une couleur jaune bronzée.

En ce qui concerne les oligo-éléments, la carence en fer se manifeste par la chlorose du feuillage n'affectant bien souvent qu'une seule branche. Dans le cas d'une carence en zinc, il y a réduction de la taille des feuilles âgées et formation de « balai de sorcière ». Il y a jaunissement partiel de certaines feuilles, les nervures et leurs abords restent verts. La carence en manganèse induit une réduction de la taille des feuilles et une décoloration partielle de certaines feuilles, les nervures et leurs abords restent verts. La carence en manganèse se voit bien sur des gourmands. Les carences en zinc et en manganèse sont souvent associées.

La carence en bore provoque une réduction de la taille des fruits et la formation de poches de gomme dans l'écorce.

Cette carence est rare. L'excès entraîne une brûlure du bout des feuilles.

La carence en cuivre se caractérise par des feuilles excessivement vertes, ce qui masque les autres carences, cette carence est rare (IDAF, 1976).

### **3.3. Les interaction entre éléments**

L'utilisation excessive de certains éléments peut modifier l'assimilation d'autres éléments. Par exemple, un excès d'azote peut induire une déficience en potasse et réciproquement. Les phosphates favorisent l'entrée du magnésium, alors que le calcium réduit son assimilation. PRALORAN (1971), rapporte que le potassium peut influencer l'absorption du zinc.

La synthèse des résultats des travaux rapportés par MARCHAL (1984) met en évidence l'influence de l'augmentation de la teneur foliaire d'un élément sur celui des autres éléments, une faiblesse en azote s'accompagne souvent d'un taux élevé en phosphore. D'autre part, le niveau élevé en phosphore peut provoquer une déficience en zinc. Une déficience en magnésium peut induire une faible assimilation en zinc et en manganèse (MARCHAL, 1984).

Selon CLINE et Mc NEILL (2003), on peut provoquer une carence en potassium en épandant de l'azote sur un sol assez pauvre en potassium, la croissance induite par l'azote entraîne des besoins plus importants en potassium.

Les fortes fumures phosphatées risquent de limiter l'absorption du cuivre et du zinc, l'absorption des ions nitriques peut limiter l'absorption du cuivre (SOLTNER, 1988).

### **3.4. La pratique de la fumure**

Le rendement des agrumes est améliorée par l'apport des éléments nutritifs nécessaires au développement de la plante (KENGUE, 2001). Les éléments nutritifs sont restitués au sol par différents manières parmi lesquelles les engrais minéraux. D'après GONDER et JUSSIAUX (1980), un engrais est une substance destinée à fournir aux plantes par l'intermédiaire du sol, un ou plusieurs éléments nutritifs jugés insuffisamment abondants dans le sol pour alimenter la plante. Pour obtenir des rendements élevés, il est nécessaire d'apporter des engrais minéraux, les doses préconisées par l'ITAF(1995) sont présentées dans le tableau III.

Tableau III. Fumure d'un verger adulte (ITAF, 1995).

Unités fertilisantes	Epoques d'apport
N : 250kg/ha	1/ 2 de la dose début Février 1/ 4 de la dose fin Juin 1/ 4 de la dose fin Août
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 80kg/ha K <sub>2</sub> O : 160kg/ha	Octobre - Novembre

On peut noter qu'il y a absence d'apport d'oligo-éléments dans les vergers agrumicoles algériens.

Les recommandations de quelques pays parmi les plus grands producteurs d'agrumes dans le monde sont, pour les arbres adultes âgés de plus de 8 ans, les suivantes :

- Espagne :

400 - 600kg N/ha  
120 - 200kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha  
300 - 400kg K<sub>2</sub>O/ha

Avec 10 à 20 tonnes/ha de fumier tous les 2 à 3 années. Les éléments secondaires (Ca, Mg, S) et les oligo-éléments (Fe, Zn, Cu, Mn) sont parfois apportés selon les situations. L'apport se fait par pulvérisation foliaire.

- Etats-Unis d'Amérique :

100 - 300kg N/ha  
100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha  
100 - 200kg K<sub>2</sub>O/ha  
50 - 100kg MgO/ha

Des pulvérisations foliaires de solutions de Zn, Mn et parfois B sont réalisées.

- Maroc :

300 - 350kg N/ha  
250 - 300kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha  
300 - 400kg K<sub>2</sub>O/ha

Des oligo-éléments sont parfois apportés par pulvérisation foliaire.

- Brésil :

200kg N/ha  
100kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha  
200 kg K<sub>2</sub>O/ha

#### **4. Evaluation de l'état nutritionnel des agrumes par le diagnostic foliaire**

Le diagnostic foliaire est une méthode d'évaluation des besoins des végétaux en éléments nutritifs en utilisant la plante elle-même comme indicateur de son état nutritionnel (GAUTIER, 1975). Le but du diagnostic foliaire est de déterminer quels sont les éléments qui font défaut au végétal. Ce moyen de diagnostic est le plus immédiat pour évaluer l'état nutritionnel d'une plante et permet d'intervenir au bon moment pour combler les carences (PAGE, 2003).

L'utilisation de l'analyse végétale aux fins d'estimer le niveau nutritionnel de la culture se développe actuellement pour de nombreuses espèces. Son domaine d'application est par conséquent complémentaire à des analyses du sol réalisées notamment avant l'implantation du verger (GAGNARD et al, 1988). Selon KHELIL (1989), la présence des éléments minéraux dans la feuille permet de juger les conditions dans lesquelles se dérouleront les réactions de synthèse. D'après cet auteur, le diagnostic foliaire comprend trois phases :

- le prélèvement des feuilles,
- l'analyse chimique des feuilles,
- l'interprétation des résultats.

##### **4.1. Les principales méthodes d'échantillonnage**

la méthode de REUTHER et SMITH (1950) a été utilisée en Floride, elle limite la période d'échantillonnage à des feuilles âgées de 4 à 7 mois sur les rameaux non fructifères, car ceux-ci présentent généralement le type prédominant des rameaux présents, les variations de la composition minérale dues aux transferts des éléments vers les fruits sont dans ce cas moins importantes. En ce qui concerne le nombre de feuilles à échantillonner par arbre, ils préconisent de prélever 10 feuilles terminales, à la périphérie, tout au tour de la couronne entre 0.9 et 2.9 mètres de hauteur. Des échantillons de 50 à 100 feuilles par groupe de 5 arbres sont recommandés. En grande exploitation, les mêmes auteurs travaillent sur des groupes de 20 arbres par unité de 2 à 5 hectares.

La méthode de CHAPMAN (1964) a été mise en oeuvre en Californie, elle a établi un tableau de référence pour les feuilles âgées de 4 à 10 mois (cycle printanier), le choix s'est porté sur les feuilles des rameaux porteurs de fruits. Ce prélèvement est plus aisé, car l'âge des feuilles peut être facilement fixé, ce qui évite de prélever les feuilles du cycle précédent. Le prélèvement est effectué à la périphérie, tout au tour de la frondaison, il est préconisé

de constituer des échantillons de 100 à 200 feuilles pour 2 à 3 hectares. Dans chaque unité 20 à 40 % des arbres doivent être échantillonnés à raison de 4 feuilles par arbre, prélevées suivant les quatre directions cardinales.

La méthode d'échantillonnage retenue en Algérie est la méthode préconisée par CHAPMAN (KHELIL, 1989).

#### 4. 2. Interprétation des résultats d'analyses

Pour interpréter des résultats d'analyse foliaire, il faut disposer de valeurs de références de la littérature obtenues sur du matériel identique considéré comme sain (GYSI et al, 2000).

Les normes de CHAPMAN (1960), établies en Californie, sont généralement utilisées pour évaluer l'état nutritionnel des agrumes

Tableau IV. Normes d'interprétation des résultats du diagnostic foliaire des agrumes (CHAPMAN, 1960).

Eléments	Très faible	Faible	Bon	Elevé	Très élevé
En pourcentage par rapport à la matière sèche des feuilles					
Azote (N)	0.6-1.90	1.90-2.10	2.20-2.80	2.80-3.50	>3.5
Phosphore (P)	< 0.07	0.07-0.11	0.12-0.18	0.19-0.29	> 0.30
Potassium (K)	0.15-0.30	0.40-0.90	1.00-1.70	1.80-2.00	> 2
Magnésium (Mg)	0.05-0.15	0.16-0.20	0.30-0.60	0.70-1.00	> 1
Calcium (Ca)	< 2	2 - 2.90	3 - 6	6.10-6.90	> 7
Sodium (Na)	-	0.01-0.06	0.10-0.15	0.20-0.25	>0.25
Chlore (Cl)	-	-	0.02-0.15	0.20-0.30	> 0.40
Soufre (S)	0.05-0.13	0.14-0.19	0.20-0.30	0.40-0.49	>0.50
En ppm par rapport à la matière sèche des feuilles					
Bore (B)	< 15	15 - 40	50 - 200	200 - 250	> 250
Cuivre (Cu)	< 4	4.1 - 5	5.1 - 15	15 - 20	> 22.0
Manganèse (Mn)	5 - 20	21 - 24	25 - 100	100 - 200	200-1000
Zinc (Zn)	4 - 15	15 - 24	25 - 100	100 -200	> 200
Fer (Fe)	< 40	40 - 60	60 - 150	150	-
Molybdène (Mo)	0.01-0.05	0.06-0.09	0.1 - 3.0	4.0-100.0	> 100

KHELIL (1989) souligne que l'état nutritionnel correspondant au meilleur rendement serait, selon des normes de CHAPMAN (1960), le suivant :

Eléments	g/100g MS	Eléments	mg/kg MS
- N	2.4	- B	75
- P	0.12	- Cu	5
- K	1.0	- Fe	60
- Ca	5.0	- Mn	35
- Mg	0.4	- Mo	20
- S	0.3	- Zn	25

#### **4. 3. Influence des différents facteurs sur la composition minérale des feuilles**

Les résultats d'analyse des feuilles doivent être examinés en tenant compte d'un certain nombre de facteurs qui influencent leur composition. Ces facteurs sont :

- le climat qui agit surtout par la pluviosité. En effet, une pluie abondante surtout en basse température, réduit par lessivage les apports d'engrais en particulier azotés, d'où la nécessité d'avoir des données climatiques avant tout épandage (REUTHER et SMITH , 1950).

- le sol qui peut être à l'origine des déséquilibres nutritifs, l'analyse foliaire seule serait incomplète. Certaines caractéristiques physiques et chimiques du sol peuvent provoquer une déficience nutritive (asphyxie racinaire, déficit en eau, antagonisme des éléments minéraux, pH),

- le porte-greffe qui joue un rôle sélectif vis à vis des éléments minéraux absorbés (GORTON, 1954). Selon cet auteur, les accumulations de calcium, potassium et magnésium sont plus élevées chez le pomélo quand il est greffé sur mandarinier cléopâtre que lorsqu'il est greffé sur le bigaradier.

On relève aussi qu'en corse CASSIN et BLONDEL (1988), ont montré que la composition minérale des feuilles, la croissance et le rendement du clémentinier étaient influencés par le porte-greffe (bigaradier, citrange troyer et poncirus trifoliata). MARCHAL (1984) signale que le profil racinaire de chaque porte-greffe diffère en ce qui concerne la nature et la capacité d'absorption, cette propriété fait que les porte-greffes influent de façon différente sur la variété quand à la production, l'époque de maturité, la qualité des fruits et surtout son adaptation aux conditions du sol.

La variété agit par l'influence du patrimoine génétique qui fait que deux plantes d'espèces différentes poussant sur une même solution nutritive ou sur un même sol n'auront pas, au bout d'un certain temps, la même composition (MARCHAL et al., 1975). LEVI (1958), a montré que les feuilles de Washington navel sont systématiquement plus riches en azote,

en phosphore et en potassium et plus pauvres en calcium que la valencia late.

MARCHAL et al.(1975) rapportent que le taux d'azote diminue régulièrement avec l'âge de 5 à 25 ans, même si le verger est régulièrement alimenté en azote.

Le type de rameaux intervient dans la composition des feuilles qui est influencée par la présence ou non des fruits qui puisent les éléments minéraux non seulement du sol mais aussi des réserves des feuilles (MARTIN-PREVEL , 1965). Selon la même source, les arbres fruitiers en général ont une teneur en azote, en phosphore et en potassium plus faibles dans les feuilles des rameaux fructifères, et cela dû à leur migration vers les fruits. Par contre, les teneurs en calcium et magnésium augmentent suite à l'appel de la feuille pour se substituer au potassium.

L'âge de la feuille influence la composition minérale de la feuille. Les teneurs foliaires en éléments nutritifs varient en fonction de l'âge de la feuille quelque soit l'alimentation de la feuille (MARCHAL et al., 1975). En phase de croissance, la composition de la feuille évolue très rapidement. Elle évolue beaucoup plus lentement pour l'azote et le phosphore, les teneurs en potassium présentent une irrégularité (MARTIN-PREVEL, 1965). Au Maroc, NADIR (1971), a remarqué que les teneurs en oligo-éléments comme le zinc et le cuivre diminuent avec l'âge de la feuille, tandis que celles du manganèse et du bore augmentent. A cet effet, le prélèvement des feuilles est effectué lorsque les teneurs varient le moins possible, et cela est le cas entre le 5<sup>eme</sup> et le 10<sup>eme</sup> mois. Pour CHAPMAN (1964), la composition minérale des feuilles devient stable dès l'âge de 4 mois jusqu'à l'âge de 10 mois sur rameaux fructifères.

La position de la feuille influence la composition minérale de la feuille par :

- l'ombrage, chez le clémentinier, de l'extérieur vers l'intérieur, les teneurs des feuilles en azote, en phosphore et en potassium augmentent surtout chez les rameaux non fructifères, tandis que celles du calcium et en magnésium diminuent aussi bien chez les rameaux fructifères que chez les rameaux non fructifères (MARTIN-PREVEL, 1965),
- la hauteur, sur le clémentinier les travaux de MARTI-PREVEL (1965) ont montré que les teneurs en azote et en phosphore présentaient une légère augmentation avec la hauteur du prélèvement, plus accentuée cependant chez les rameaux non fructifères. D'autre part, MARCHAL (1984), constate des niveaux d'azote et de phosphore plus faibles dans les rameaux fructifères situés au sommet de l'arbre,

- l'orientation, MARTIN-PREVEL (1965), signale en ce qui concerne l'orientation, q'aucun des quatre points cardinaux ne remplit les conditions privilégiées par rapport aux autres.

L'importance de la récolte influence la composition minérale des feuilles chez les arbres fruitiers. Selon MARCHAL et al. (1975), les arbres ayant déjà produit accuseront un retard très net au démarrage de la végétation la saison suivante, du fait de l'épuisement de leurs stocks, et le peu de cations qui restent représentent une nouvelle répartition difficile à gérer sans réserves, C'est pourquoi les jeunes arbres à faible production fournissent des feuilles plus riches en azote, en phosphore et en potassium que les arbres âgées.

L'état sanitaire de l'arbre, s'il est défectueux, constitue une limite pour le diagnostic foliaire. En effet, certaines maladies surtout infectieuses, et certains ravageurs provoquent des troubles physiologiques par détournement des métabolismes cellulaires qui se traduisent par des symptômes de carence, dans ce cas les résultats des analyses foliaires ne reflètent pas exactement l'état nutritionnel de l'arbre.

## **5. L'état nutritionnel des vergers agrumicoles algériens**

Les premiers travaux sur les applications du diagnostic foliaire comme méthode de contrôle de l'état nutritionnel des vergers d'agrumes ont commencé en 1974, ils étaient limités aux vergers de la station expérimentale de Boufarik, puis se sont généralisés aux vergers de la Mitidja et du Sahel (KHELIL, 1989).

Les résultats obtenus sont rapportés dans le tableau V, l'état nutritionnel est déterminé selon les normes de CHAPMAN (1960).

Tableau V. Etat nutritionnel des vergers d'agrumes en Algérie (KHELIL, 1989).

Zones	Niveau en éléments		
	Satisfaisant	Faible	Carence
Mohammadia	N-P-Mg-Ca-B-Cu	K	Zn - Mn
Mostaganem	N-P-K-Mg-Ca-Cu-B	Mn	Zn
Rélizane	N-Mg-B-Cu	P-K-Mn	Zn
El Asnam	N-Ca-B-Cu-Zn	P-K-Mg	Zn
Bouguirate	N-Mg-B-Cu-Zn	P-K	Zn
Boufarik (station)	N-P-Mg-Ca-B-Cu	K	-
Boufarik	N-P-Ca-B-Cu	K-Mg	Zn - Mn
Birtouta	N-P-Bo-Cu-Zn-Mn	K-Mg	-
Blida	N-P-Mg-B-Cu	K	Zn - Mn
Bougara	P-Mg-B-Cu-Zn	N-K	Mn
Sidi Moussa	N-P-Ca-Cu	K-Bo-Mn	Zn
Larbaà	N-P-Ca-Bo-Cu	K	Mg - Zn - Mn
La Chifa	N-P-B-Cu	Mg-Zn	Zn -Mn
Chebli	N-P-Ca-B-Cu	K	Mn
Mouzaia	N-P-B-Cu	K-Mg	Zn -Mn
El Affroun	N-P-Mg-Ca-B-Cu	K	Zn-Mn
Oueld El Ouleug	N-P-Mg-B-Cu	K-Zn	Mn
Ahmer E Ain	N-P-Ca-B-Cu	K-Mg	Zn-Mn

D'après ces résultats on note :

- une carence en zinc dans 13 cas sur 18
- une carence en manganèse dans 10 cas sur 18
- un niveau faible en potassium dans 16 cas sur 18
- un niveau faible de magnésium dans 7 cas sur 18.

D'après le travail de HATATBA(1978) réalisé dans 3 vergers du clémentinier de la région de la Mitidja, les résultats d'analyse des feuilles obtenus pour l'ensemble des vergers, montrent un déséquilibre alimentaire. En effet, l'azote, le calcium, le fer et le cuivre sont à l'optimum, tandis que le phosphore, le potassium, le magnésium, le sodium et le manganèse oscillent à des niveaux variables bien en dessous de l'optimum.

Un autre travail réalisé par SAADI (1983) montre aussi un déséquilibre alimentaire qui affecte les 3 vergers étudiés.

La déficience touche surtout le potassium, le magnésium et le sodium.

Une autre étude a été réalisée par IDAF (1976), sur la détection des carences des agrumes en Algérie, les résultats obtenus sont présentés dans le tableau VI.

Tableau VI. Etat nutritionnel des vergers d'agrumes en Algérie (IDAF, 1976).

Zones	Niveaux en éléments	
	Satisfaisant	Déficient
Mohammadia (Double fine améliorée)	N-P-Mg-Ca	K
Mostaganem (clémentinier)	N-P-K-Mg-Ca-Cu-Mn-B	Zn
Rélizane (W. navel)	N-P-Mg-Ca-B-Cu	K-Zn
El Asnam (Double fine améliorée)	N-B-Cu-Mn	P-K-Mg-Zn
Boufarik (W. navel)	N-P-Ca-B-Cu	K-Mg-Zn - Mn
Blida (Sanguine)	N-P-Mg-Ca-B-Cu	K-Zn - Mn
Bougara (Valencia late)	P-Mg-Ca-B-Cu-Zn	N-K-Mn

D'après ces résultats on enregistre :

- une carence en potassium dans 6 cas sur 7
- une carence en magnésium dans 2 cas sur 7
- une carence en zinc dans 5 cas sur 7
- une carence en manganèse dans 3 cas sur 7
- une carence en azote et en phosphore dans 1 cas sur 7.

### Conclusion

Les agrumes constituent l'une des productions les plus importantes dans le monde.

Pour augmenter et stabiliser le rendement des agrumes, il est impératif d'apporter des engrais minéraux et bien entretenir le verger.

La maîtrise d'une bonne fertilisation se répercute directement sur le niveau de rendement des cultures et sur la qualité des fruits. Une fertilisation raisonnée est obtenue par le contrôle de l'état nutritionnel du verger, en utilisant l'analyse du sol et l'analyse foliaire.

Pour contrôler et suivre l'état nutritionnel des agrumes on a recours au diagnostic foliaire, il permet d'adapter la pratique de la fumure minérale . Ce diagnostic doit être complété par l'analyse du sol pour la définition d'une fumure rationnelle.

D'après les différents travaux réalisés en Algérie concernant le diagnostic de l'état nutritionnel, aucune déficience en calcium n'est signalée. En ce qui concerne le magnésium, des carences sont observées dans différents vergers d'agrumes de la Mitidja. Pour le soufre, il y a absence de données pour la majorité des vergers.

## **CHAPITRE II. MATERIELS ET METHODES**

L'objectif de notre travail consiste à évaluer l'état nutritionnel d'un verger d'agrumes par la méthode du diagnostic foliaire selon la méthode de CHAPMAN (1960). Les éléments étudiés sont les éléments majeurs secondaires.

### **1. Matériel d'étude**

#### **1.1. La parcelle**

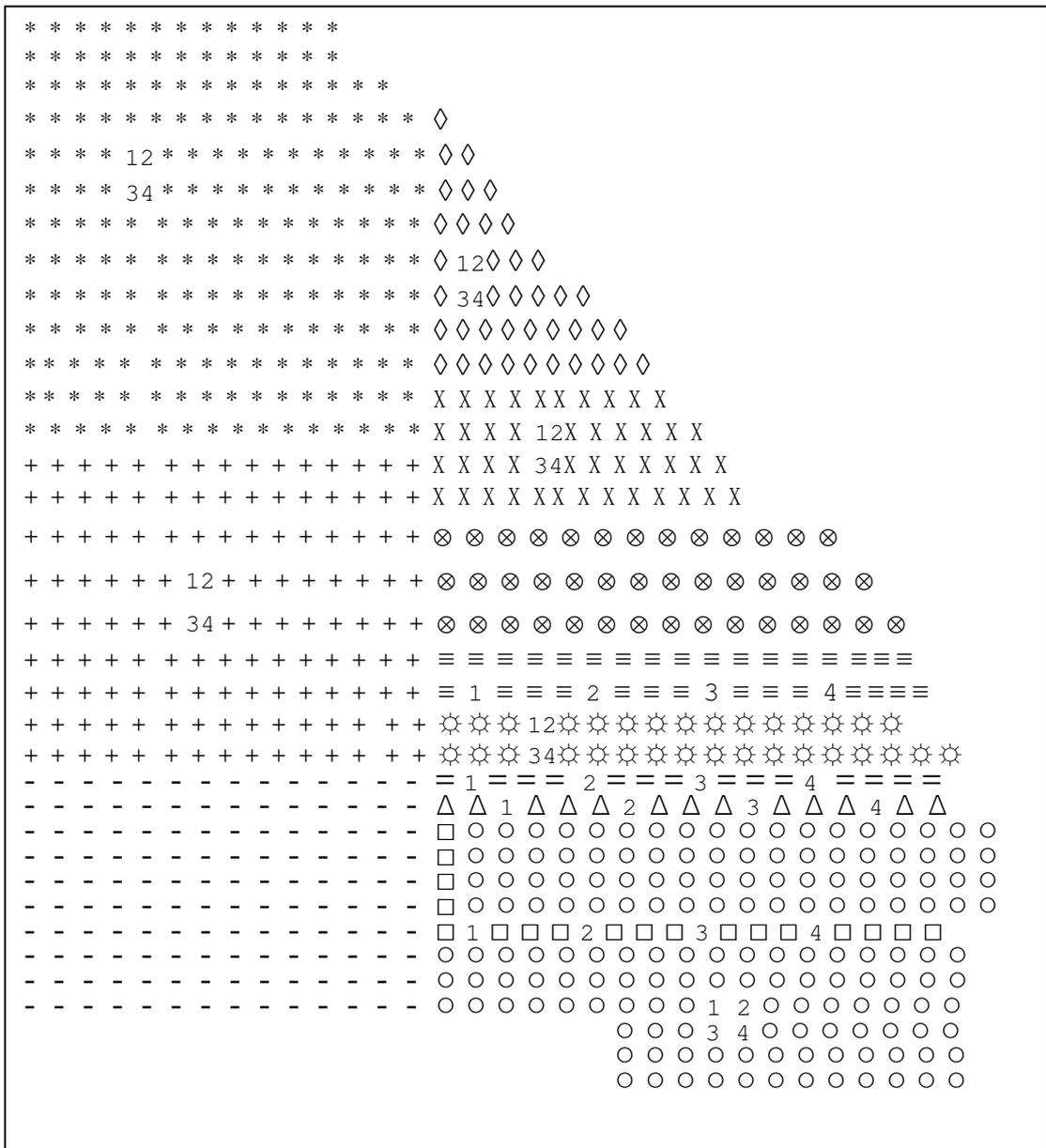
Cette recherche s'est déroulée au sein de la station de démonstration de l'institut technique de l'arboriculture fruitière et de la vigne (ITAFV), qui se situe à Tessala El Merdja (Mitidja centre). La parcelle d'étude mesure 2.71 ha, cette superficie est répartie entre 10 variétés d'agrumes

#### **1.2. Le matériel végétal**

Le verger d'agrumes étudié contient différentes espèces qui sont les oranges, les citronniers, les mandariniers et les clémentiniers. Il y a 3 porte-greffes différents, le Citrange troyer, Citrange carrizo et Poncirus trifoliata (figure 1).

Le verger étudié a été mis en place en Mars 1984, le moyen d'irrigation est la micro-aspersion.

Les individus échantillonnés pour chaque variété sont indiqués par les numéros 1, 2, 3 et 4.



- |                             |                          |
|-----------------------------|--------------------------|
| * Double fine améliorée     | ≡ Citronnier Eurêka      |
| + Washington navel          | ☼ Citronnier Lisbonne 16 |
| - Clémentine                | = Citronnier Lisbonne 6  |
| ◇ Mandarinier Avana tardivo | △ Citronnier Femminello  |
| X Mandarinier Avana apérino | □ Valencia compbell      |
| ⊗ Tarocco                   | ○ Valencia late olinda   |

Figure 1. Schéma de la distribution du matériel végétal.

### 1.3. Le sol

Notre parcelle est localisée dans une unité pédologique de la carte des sols de la Mitidja centre réalisée par l'ANRH - Soumaa l'échelle de 1/25000 (1992).

Le choix s'est porté sur le profil 950 qui est situé dans notre zone d'étude

Les caractéristiques du milieu sont les suivantes :

Localité : Tessala El Merdja.

Topographie : plane

Géomorphologie : piémont

La classification du sol est la suivante : sol calcimagnésique, carbonaté, brun calcaire, modal, sur alluvion calcaire, profond

La description du profil est la suivante :

- |                  |   |
|------------------|---|
| <b>0 - 35cm</b>  | Frais, 10YR 4/4, texture limono- argileuse, structure grumeleuse, bonne porosité, friable, chevelu radicalaire, charbon de bois en décomposition, concrétions ferro-magésiques, débris de coquilles, présence de gravillons, HCl + + +, transition nette. |
| <b>35 - 75cm</b> | Frais, 7,5YR 4/4, texture limono- argileuse, structure polyédrique fine, poreux, friable, quelques radicelles fines, débris organiques décomposés, présence de gravillons, quelques modules calcaires, HCL+ + +, transition nette.                        |
| <b>75 -120cm</b> | Frais, 2,5YR 4/2, texture argileuse, structure polyédrique moyenne, très faible porosité, peu friable et peu plastique, débris de coquilles, tâches verdâtres, HCl + + +.   |

Les principales données analytiques de ce profil sont présentées dans le tableau VII.

Tableau VII. Les principales données analytiques du profil .

Paramètres	Horizons		
	0 - 35 cm	35 - 75 cm	75 - 120 cm
Argile %	33	33	60
Limons fins %	21	18	23
Limons grossiers %	12	14	6
Sables fins %	16	21	6
Sable grossiers %	16	15	2
CEC Cmol(+) / kg	17	12	25
Calcaire total %	12.28	12.67	7.68
pH	7.74	7.96	7.92

## 2. Méthodes d'étude

### 2.1. Le végétal

Pour notre travail nous avons étudié 10 associations greffon/porte-greffe :

- des oranges :
  - Washington navel/citrange troyer
  - Double fine améliorée/citrange troyer
  - Valencia late olinda/citrange troyer
  - Valencia compbell/citrange carrizo
- des citronniers :
  - citronnier femminello/citrange troyer
  - citronnier eurêka/citrange troyer
  - citronnier Lisbonne 6/citrange troyer
  - citronnier Lisbonne 16/citrange troyer
- des mandariniers :
  - Avana aperino/poncirus trifoliata
  - Avana tardivo/poncirus trifoliata

Les facteurs de variation étudiés dans notre travail sont donc :

- les éléments secondaires (calcium, magnésium, soufre),
- les espèces (orangers, citronniers, mandariniers),
- les variétés ( 10 variétés),
- les porte-greffes (citrange troyer et citrange carrizo).

## **2. 1. 1. L'échantillonnage**

Pour la méthode d'échantillonnage, nous avons opté pour celle de CHAPMAN (1964), car c'est la méthode la plus utilisée, notamment par les pays agrumicoles du bassin méditerranéen (KHELIL, 1989).

Nos échantillons se composent de pousses du dernier printemps (âgées de 5 mois et demi à 7 mois et demi), portées par les rameaux fructifères. Ces feuilles sont de dimensions normales, entières avec pétiole.

Le prélèvement est effectué sur tout le pourtour de l'arbre entre 0.8m et 1.80m de hauteur. Nous avons prélevé entre 75 et 100 feuilles par arbre choisi, notre surface d'étude étant de petite taille (2.71 ha), nous avons retenu 4 arbres par variété étudiée. Puisque 10 variétés sont étudiées, 40 arbres sont donc échantillonnés.

Les prélèvements ont eu lieu entre le 10 et le 12/11/2003.

Les feuilles prélevées sont lavées à l'eau du robinet puis rincées à l'eau distillée. Elles sont ensuite soumises au séchage à l'étuve pendant 24 heures à une température de 70°C. Les feuilles séchées sont broyées. La poudre obtenue est tamisée à 0.5mm et conservée dans des tubes bien fermés jusqu'au moment des analyses.

## **2. 1. 2. Méthodes d'analyse**

L'analyse a porté sur le calcium, le magnésium et le soufre.

Pour analyser les éléments minéraux contenus dans la matière végétale il faut les faire passer à l'état de sels minéraux solubles, que l'on dose ensuite par les méthodes classiques de la chimie minérale. Pour notre essai, nous avons utilisé la méthode de la minéralisation par voie sèche en calcinant la poudre à 550°C pendant 2 heures et en dissolvant la cendre dans de l'acide chlorhydrique (KHELIL, 1989).

Les éléments minéraux sont dosés à partir de la solution obtenue par la minéralisation. Le calcium et le magnésium sont dosés au spectrophotomètre d'absorption atomique, le soufre est dosé par colorimétrie.

## **2.2. Le sol**

### **2. 2. 1. Méthode d'échantillonnage**

Après avoir déterminé les différents points d'échantillonnage qui sont localisés au niveau de 4 arbres de chaque variété d'agrumes (10 variétés, soit 10 associations greffon/porte-greffe sont étudiés), nous avons prélevé un échantillon de terre en utilisant la tarière, à une profondeur de 25cm dans la zone couverte par la couronne de l'arbre à 4 points opposés autour de l'arbre.

Pour les analyses du calcium assimilable, du magnésium assimilable et du soufre assimilable, un échantillon moyen par arbre est obtenu en mélangeant les 4 prélèvements réalisés autour de l'arbre. Les analyses portent sur 40 échantillons, soit 4 échantillons par variété.

Pour les analyses de certaines caractéristiques du sol pouvant influencer leur état de fertilité chimique (CEC, MO, Analyse granulométrique, pH, calcaire total), nous réalisons les analyses sur un échantillon moyen obtenu en mélangeant les prélèvements réalisés autour des arbres de chaque variété. Les analyses portent donc sur 10 échantillons moyens.

Les échantillons sont soumis au séchage à l'air libre pendant une semaine, au moment du séchage les mottes sont effritées au fur et à mesure de leur séchage. Une fois les échantillons secs, ils sont tamisés à 2mm.

Les échantillons sont prélevés le 21 et le 22/12/2003.

### **2. 2. 2. Méthodes d'analyse du sol**

Les analyses suivantes ont porté sur 10 échantillons moyens :

- l'analyse granulométrique, par la méthode internationale
- pH, méthode potentiométrique sur une suspension de terre égale à 1/ 2.5
- calcaire total : méthode volumétrique au calcimètre de BERNARD
- carbone organique : méthode de WALKEY-BLACK. La conversion du taux de carbone en matières organiques est obtenue à l'aide d'un facteur empirique considéré égale à 2.

- capacité d'échange cationique (CEC) : extraction des cations échangeables à l'acétate d'ammonium, déplacement de l'ammonium par l'acétate de potassium, dosage de l'ammonium par distillation.

Sur l'ensemble des 40 échantillons moyens, nous avons dosé le calcium, le magnésium et le soufre. L'analyse porte sur forme assimilable selon les méthodes suivantes :

- le calcium et le magnésium sont extraits avec une solution d'acétate d'ammonium 1N à pH 7. le calcium et le magnésium extraits sont dosés au spectrophotomètre d'absorption atomique.

- le soufre assimilable correspond au soufre soluble. Il est obtenue en utilisant l'extrait dilué 1/ 5. Le soufre extrait est dosé par colorimétrie.

### 3. Les conditions climatiques

Les condition climatiques enregistrés durant notre travail sont donnés par le tableau VIII.

Tableau VIII. Les données climatiques de la campagne 2003 - 2004 (ITAFV, Boufarik).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
Températures moyennes maximales °C	30.85	26.88	22.88	17.72	17.87	19.70	18.92	21.90	22.50	30.80	32.50	34.82
Températures moyennes minimales °C	17.83	14.83	10.15	6.0	5.35	6.48	7.14	8.16	12.	16.60	19.32	20.96
Précipitations en mm	17.8	16.45	85.6	123.6	71.9	24.9	101.7	67.9	118.7	12.4	01.3	10
Précipitations moyennes de 40 ans (1947-1987) en mm	44.1	61.8	130.2	115.0	102.	93.2	78.5	36.8	19.2	16.6	8.1	1.6

Nous notons que le total des précipitations est de 652.55mm, cette valeur est relativement faible par rapport à la moyennes des précipitations de 40 ans qui est de 707.1mm. Sachant que les besoins des citrus s'élèvent à environ 1200mm, dont la moitié au cours de l'été (BLONDEL, 1959), l'irrigation est donc nécessaire pour compenser le déficit hydrique.

La température moyenne maximale varie entre 17.72 et 34.82°C, les températures moyennes minimales sont variables entre 5.35 et 20.96°C.

#### **4. La conduite du verger**

Les citrus présentent un système racinaire relativement superficiel, cette particularité nécessite des façons culturales superficielles pour éviter la destruction des racines. Le travail du sol s'effectue à l'aide d'une charrue à disques ou cover crop, les parties entourant le tronc sont travaillées manuellement à l'aide d'une pioche.

Le 1 septembre, il y avait épandage d'urée à raison de 11.5qx sur tout le verger. Le 2 septembre 2003, un épandage d'engrais 20-25 à raison de 13qx/ha est réalisé. Ces doses sont très faibles par rapport aux doses recommandées par ITAF (1995). En comparant ces doses par rapport aux recommandations données par le Maroc, nous remarquons qu'elles sont faibles. Il faut signaler que les éléments secondaires et les oligo-éléments ne sont pas apportés par la fumure.

Un traitement phytosanitaire avec LANATE (150g/hl) a été effectué le 9 septembre 2003.

La taille est pratiquée juste après la récolte, c'est une taille d'éclaircissage de la frondaison, reconnue dense chez les variétés des citrus, cette permet également d'empêcher le développement de certains parasites (pucerons, aleurodes, cochenilles).

## CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

### 1. EVALUATION DE L'ETAT NUTRITIONNEL DES ARBRES

#### 1.1. Les teneurs foliaires en calcium

les résultats du diagnostic foliaire sont représentés dans le tableau IX.

La comparaison de nos résultats avec la norme de CHAPMAN (1960) permet de montrer que les teneurs en calcium sont à l'optimum pour tous les individus. La valeur la plus élevée importante est enregistrée pour le Citronnier eurêka sur Citrange troyer avec 4.1% de M.S. La plus faible valeur caractérise l'oranger double fine améliorée sur Citrange troyer (3.51% de M.S.) (figure 2).

Le coefficient de variation indique une homogénéité entre les individus pour 7 variétés, seules 3 variétés semblent présenter une hétérogénéité entre les individus ( $CV > 12\%$ ) (VAUCLIN, 1982), il s'agit d'une hétérogénéité intravariétale vis à vis de l'assimilation du calcium par le végétal.

#### 1.2. Les teneurs foliaires en magnésium

Le tableau X présente les résultats obtenus pour le magnésium. Ces résultats montrent que la teneur en magnésium des feuilles est élevée pour 6 variétés, alors que pour les 4 autres variétés elle est à l'optimum. La valeur de 0.45% de matière sèche est la plus faible, elle est enregistrée par la double fine améliorée sur Citrange troyer. La valeur la plus élevée (0.85% de M.S.) est obtenue par le Citronnier femminello sur Citrange troyer (figure 3).

Le coefficient de variation montre une homogénéité entre les individus pour 6 variétés. Les 4 autres variétés présentent un  $CV > 12\%$ , elles sont donc caractérisées par une hétérogénéité intravariétale élevée pour l'assimilation du magnésium par le végétal.









### **1.3. Les teneurs foliaires en sulfates**

Les résultats obtenus sont donnés au tableau XI. Ces résultats montrent que la teneur des feuilles en sulfates varie du très faible à faible. La teneur la plus élevée est enregistrée par la Valencia compbell sur Citrange carrizo avec 0.48% de M.S. La double fine améliorée greffée sur Citrange troyer présente la valeur la plus faible (figure 4).

Le coefficient de variation indique une homogénéité intra-variétale pour 7 variétés, tandis que 3 variétés sont caractérisées par une hétérogénéité intravariétale pour leur comportement vis à vis de l'assimilation des sulfates.

### **Discussion et conclusion**

A partir des résultats de l'analyse foliaire, il s'avère que le calcium est à l'optimum pour tous les individus, cette teneur à l'optimum est due à son abondance dans le sol. Ce résultat confirme les travaux déjà réalisés dans la région (GHEZALI, 1993). Par ailleurs, Selon KHELIL (1989), la carence en cet élément n'a pas été signalée dans les vergers agrumicoles en Algérie.

Concernant le magnésium, sa teneur varie de l'optimum à un niveau élevé. Dans les travaux de SAADI (1983), il a été observé un niveau faible en magnésium dans 3 vergers du clémentinier, d'oranger valencia late et d'oranger Thomson navel. Les travaux de HAMDI PACHA (1976) et KHELIL (1978) aboutissent à des conclusions comparables aux nôtres. Cette teneur en magnésium relativement élevée dans notre cas est à rapprocher de sa teneur dans le sol. L'antagonisme entre le potassium et le magnésium et entre le calcium et le magnésium ne semblent pas suffisamment important pour affecter l'assimilation du magnésium par le végétal (SOLTNER, 2000 ).

Pour les sulfates, leur teneur dans les feuilles est faible à très faible par rapport à la norme. Cet état nutritionnel déficient en sulfates pourrait être en relation avec la teneur du sol en sulfates assimilables, il peut être le résultat de l'effet d'autres facteurs influencent cette assimilation comme l'absence de la pratique de fumure sulfatée, et l'absence d'apport d'amendements organiques capables de libérer le soufre par minéralisation (GONDER et JUSSIAUX, 1980).





Concernant la relation entre l'assimilation des éléments nutritifs et le végétal, une meilleure assimilation du calcium est observée chez le citronnier eurêka greffé sur citrange troyer. Le citronnier femminello greffé sur citrange troyer, assimile le mieux le magnésium. La valencia compbell greffée sur citrange carrizo présente la meilleure assimilation concernant les sulfates.

Il existe une hétérogénéité intravariétale pour 3 variétés sur les 10 variétés étudiées concernant le calcium et les sulfates, alors qu'elle est enregistrée par 4 variétés sur les 10 variétés étudiées pour le magnésium. La majorité des variétés présente donc une homogénéité intravariétale qui induit une assimilation comparable des éléments dans une parcelle homogène.

## **2. INFLUENCE DE L'ESPECE SUR L'ETAT NUTRITIONNEL**

Les résultats analytiques sont regroupés par espèce, les 3 espèces étudiées sont les Orangers (4 variétés x 4 individus), les Citronniers (4 variétés x 4 individus), et les Mandariniers (2 variétés x 4 individus) .

### **2.1. Les teneurs foliaires en calcium**

Les résultats du diagnostic foliaire concernant le calcium pour les 3 espèces étudiées sont les suivants :

Orangers : 3.72 % de M.S.  $\pm$  0.17.

Citronnier : 3.89 % de M.S.  $\pm$  0.47.

Mandarinier : 3.79 % de M.S.  $\pm$  0.123.

La teneur en calcium varie faiblement selon les espèces, et elle correspond toujours à un bon état nutritionnel (figure 5).

Pour l'analyse de la variance, le mandarinier n'est pas pris en considération car il présente un nombre différent d'individus (8 individus), par rapport aux orangers et aux citronniers (16 individus par espèce). L'analyse de la variance portera donc sur la comparaison entre deux espèces, les Orangers et les Citronniers. Le résultat montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les orangers et les citronniers ( $P > 0.05$ ) (tableau XII).

Tableau XII. Résultats de l'analyse de la variance.

Sources de variation	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F observé	Probabilité	Valeur critique de F
Entre groupe	0.23290	1	0.23290	1.65703	0.2074	4.170
A l'intérieur des groupes	4.21661	30	0.14055			
Total	4.44952	31				

## 2.2. Les teneurs foliaires en magnésium

Les résultats obtenus et exprimés par la moyenne pour chaque espèce d'agrumes sont les suivants :

Orangers : 0.72 % de M.S.  $\pm$  0.077  
 Citronniers : 0.73 % de M.S.  $\pm$  0.097  
 Mandariniers : 0.56 % de M.S.  $\pm$  0.076

D'après ces résultats, les orangers et les citronniers présentent des valeurs comparables et supérieures à l'optimum, les mandariniers présentent la valeur la plus faible mais correspondant à l'optimum (figure 6).

L'analyse de la variance montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les orangers et les citronniers ( $P > 0.05$ ) (tableau XIII).

Tableau XIII. Résultats de l'analyse de la variance.

Sources de variation	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F observé	Probabilité	Valeur critique de F
Entre groupe	0.001	1	0.001	0.049	0.825	4.1708
A l'intérieur des groupes	0.758	30	0.025			
Total	0.76	31				





### 2.3. Les teneurs foliaires en sulfates

La teneur en sulfates en % de matière sèche est la suivante :

Orangers : 0.389 % de M.S.  $\pm$  1.10  
Citronniers : 0.375 % de M.S.  $\pm$  0.37  
Mandariniers : 0.206 % de M.S.  $\pm$  0.03

Ces valeurs moyennes par espèce sont très faibles par rapport aux normes de CHAPMAN (1965) (figure 7).

L'analyse de la variance montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les orangers et les citronniers ( $P > 0.05$ ) (tableau XIV).

Tableau XIV. Résultats de l'analyse de la variance.

Sources de variation	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F observé	Probabilité	Valeur critique de F
Entre groupe	0.001633	1	0.00163	0.12850	0.722499	4.17088
A l'intérieur des groupes	0.381249	30	0.012708			
Total	0.38288	31				

### Discussion et conclusion

Concernant l'effet de l'espèce sur la teneur foliaire, les citronniers présentent les teneurs les plus élevées en calcium et en magnésium, les mandariniers présentent les valeurs les plus faibles en magnésium et en sulfates.

Selon MARCHAL et al. (1984), l'influence du patrimoine génétique fait que deux plantes d'espèces différentes, poussant sur une même solution nutritive ou sur un même sol, n'auront pas au bout d'un certain temps la même composition minérale. Les résultats obtenus ne confirment pas cette affirmation dans le cas des agrumes et concernant les éléments majeurs secondaires.

D'autres facteurs de croissance pourraient donc affecter le comportement des espèces étudiées vis à vis de leur nutrition en éléments majeurs secondaires.



### 3. INFLUENCE DU PORTE-GREFFE SUR L'ETAT NUTRITIONNEL

Pour de mettre en évidence l'effet du porte-greffe, nous avons comparé les deux variétés d'oranger, la Valencia late olinda sur Citrange troyer et la Valencia compbell sur Citrange carrizo. Il s'agit de 2 variétés de Valencia qui sont très proches dans leur comportement, la valencia compbell est un clone de la valencia late olinda (INRA-CIRAD, 2003).

#### 3.1. Effet du porte-greffe sur la teneur en calcium

Les résultats obtenus sur 4 individus par porte-greffe sont les suivants :

Valencia late olinda sur Citrange troyer : 3.715 % M.S.  
Valencia compbell sur Citrange carrizo : 3.68 % M.S.

D'après ces résultats, la variété Valencia late olinda greffée sur Citrange troyer présente une valeur en calcium relativement plus élevée que la variété Valencia compbell sur Citrange carrizo (figure 8). Mais, l'analyse de la variance ne révèle pas de différence significative ( $P > 0.05$ ) (tableau XV).

Tableau XV. Résultats de l'analyse de la variance.

Sources de variation	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F observé	Probabilité	Valeur critique de F
Entre groupe	0.00245	1	0.00245	0.46683	0.8358	5.9873
A l'intérieur des groupes	0.33139	6	0.0523			
Total	0.3163	7				



### 3.2. Effet du porte-greffe sur la teneur foliaire en magnésium

Les résultats de l'analyse foliaire sont les suivants :

Valencia late olinda sur Citrange troyer : 0.85 % M.S.  
Valencia compbell sur Citrange carrizo : 0.75 % M.S.

Les résultats montrent que la valeur la plus élevée est enregistrée par la variété Valencia late olinda greffée sur Citrange troyer, alors que la variété Valencia compbell greffée sur Citrange carrizo présente une valeur relativement plus faible (figure 9).

L'analyse de la variance indique qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux porte-greffes ( $P > 0.05$ ) (tableau XVI).

Tableau XVI. Résultats de l'analyse de la variance.

Sources de variation	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F observé	Probabilité	Valeur critique de F
Entre groupe	0.002	1	0.62	3	0.133974	5.98737
A l'intérieur des groupes	0.04	6	0.00666			
Total	0.06	7				



### 3.3. Effet du porte-greffe sur la teneur foliaire en sulfates

Concernant les sulfates, les résultats obtenus suivants :

Valencia late olinda sur Citrange troyer : 0.321 % M.S.  
Valencia compbell sur Citrange carrizo : 0.448 % M.S.

La valeur la plus élevée est obtenue par la Valencia compbell greffée sur Citrange carrizo (cette valeur correspond à un état nutritionnel déficient), alors que celle de Valencia late olinda greffée sur Citrange troyer est très faible (figure 10).

L'analyse de la variance montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les porte-greffe (tableau XVII).

Tableau XVII. Résultats de l'analyse de la variance.

Sources de variation	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F observé	Probabilité	Valeur critique de F
Entre groupe	0.03258	1	0.032258	0.64064	0.24759	5.98737
A l'intérieur des groupes	0.117983	6	0.019663			
Total	0.150241	7				



## **Discussion et conclusion**

Les résultats obtenus montrent que la nature du porte-greffe n'affecte pas de manière significative les teneurs foliaires en calcium (dont l'état nutritionnel est optimal), en magnésium (dont l'état nutritionnel est optimal), et en sulfates (dont l'état nutritionnel est déficient). Alors que l'influence du porte-greffe sur la composition minérale des feuilles serait très importante selon CHAPMAN (1960).

GORTON (1954), travaillant sur le pomelo, note une action du porte-greffe sur les teneurs en calcium, en potassium et en magnésium qui sont plus élevées quand cette espèce est greffée sur mandarinier cléopâtre par rapport à cette même espèce greffée sur mandarinier Sour orange. Selon cet auteur, Les porte-greffes jouent un rôle de filtre sélectif vis à vis des éléments minéraux absorbés.

MARCHAL et al. (1975), qui ont travaillé sur la composition minérale des feuilles du clémentinier greffé sur Bigaradier, Citrange troyer et Poncirus trifoliata, ont obtenu de meilleurs résultats lorsque le clémentinier est greffé sur le bigaradier.

Les travaux réalisés en Algérie ont montré que les teneurs en sodium du clémentinier sont plus importantes avec le Citrange troyer qu'avec le Bigaradier (KHELIL, 1978). GHEZALI (1993) a constaté que l'oranger donne des valeurs de teneurs foliaires plus élevées lorsqu'il est greffé sur Citrange troyer que sur Bigaradier.

Les citranges sont des hybrides de poncirus trifoliata et de citrus sinensis (oranger washington). Les citranges troyer et carrizo auraient des caractéristiques génétiques relativement proches (LOUSSERT, 1987), Ce qui expliquerait leur faible différence de comportement lors de la nutrition des agrumes en éléments majeurs secondaires.

#### 4. EVALUATION DE L'ETAT DE FERTILITE DU SOL

##### 4.1. la caractérisation du sol

Pour la caractérisation du sol, l'analyse a porté uniquement sur 5 échantillons moyens (chaque échantillon moyen est le mélange de 8 prélèvements) , les résultats obtenus sont présentés au tableau XVIII.

Tableau XVIII. Les caractéristiques de l'horizon de surface.

Paramètres	Résultats
Composition granulométrique	
Eléments grossiers %	3
Composition de la terre fine %	
Argiles	41.98
Limos fins	22.40
Limos grossiers	12.70
Sables fins	8.16
Sables grossiers	13.66
Classe texturale	Argileuse
pH	7.5
CaCO <sub>3</sub> %	0.25
C %	1.7
M.O %	3.4
N %	0.116
C/N %	14.65
CEC Cmol(+)/kg de terre	20.07

Les résultats du tableau XVIII montrent que cet horizon de surface se caractérise par une texture argileuse, avec un pourcentage faible en éléments grossiers, un pH neutre, il est non calcaire, riche en matière organique, le rapport C/N indique que la matière organique est peu décomposée, la CEC est élevée.

## **4.2. La teneur en éléments dans le sol**

La teneur du sol de la parcelle porte sur un échantillon moyen (résultant de 4 prélèvements) par arbre étudié, 4 arbres sont étudiés par variété, 4 échantillons moyens sont donc analysés par variété étudiée (10 variétés sont étudiées).

### **4.2.1. La teneur du sol en calcium assimilable**

La teneur du sol en calcium est donnée par le tableau XIX.

Les valeurs obtenues en calcium assimilable sont comprises entre 10 et 20 meq/100g de terre (soit 10 et 20 Cmol(+)/kg de terre), l'horizon de surface de cette parcelle est donc riche en calcium échangeable (GROS, 1979).

La teneur moyenne en calcium de la parcelle est de 14.55 meq/100g terre, cette teneur est élevée pour l'ensemble de la parcelle. Le coefficient de variation de 15.63 % indique une hétérogénéité moyenne de la distribution spatiale de la teneur en calcium assimilable à l'échelle de la parcelle.

La valeur la plus faible (12.85 meq/100 g de terre) est enregistrée autour du Citronnier lisbonne 6 sur Citrange troyer, alors que la valeur la plus élevée est localisée autour de la Washington navel sur Citrange troyer (figure 11).

Le coefficient de variation montre qu'il y a une hétérogénéité spatiale autour des individus de 7 variétés.





#### **4.2.2. La teneur du sol en magnésium assimilable**

Les résultats concernant la teneur en magnésium sont indiqués par le tableau XX.

Les valeurs obtenues sont comprises entre 1 à 5 meq/100g de terre, elles correspondant à un état de fertilité optimal à moyennement élevé (GROS, 1979).

La valeur moyenne du magnésium enregistrée pour la parcelle est de 4.07 meq/100g terre , le coefficient de variation moyen qui est de 13.108 % montre que la parcelle est hétérogène.

La valeur la plus élevée correspond au mandarinier avana tardivo greffée sur Poncirus trifoliata et la valeur la plus faible est enregistrée pour le Citronnier eurêka (figure 12).

#### **4.2.3. La teneur du sol en sulfates assimilables**

Les résultats sont rapportés au tableau XXI. Ils montrent que la teneur du sol en sulfates est comprise entre 1.818 et 2.923 meq/100g de terre, ces valeurs correspondent à un état de fertilité convenable (GROS, 1979) (figure 13).

La valeur moyenne en sulfates de la parcelle est de 2.24 meq/100g de terre. Le coefficient de variation moyen de la parcelle est de 25.43 %, ce qui indique que la distribution de la teneur en sulfates assimilables est hétérogène à l'échelle de la parcelle.









## Discussion et conclusion

L'horizon de surface du sol de cette parcelle est bien pourvu en calcium assimilable. Ce résultat confirme ceux de KHELIL (1989) qui montrent que les sols des vergers agrumicoles algériens sont bien pourvus en calcium assimilable. Le coefficient de variation obtenu à l'échelle parcellaire et calculé à partir de 40 échantillons analysés montre que la distribution en calcium assimilable est hétérogène .

Cet horizon de surface est également bien pourvu en magnésium assimilable. D'après DENIS (2000), Les risques de déficience en magnésium se manifestent en générale dans les sols légers, la texture du sol de cette parcelle est argileuse et ne serait donc pas favorable à une déficience en magnésium assimilable. Le coefficient de variation moyen de la parcelle est supérieur à 12%, il suggère une importante hétérogénéité de la distribution spatiale du magnésium assimilable au niveau de cette parcelle.

L'état de fertilité du sol en calcium et en magnésium assimilables doit tenir compte également du rapport ionique calcium/magnésium. En effet, si le sol est riche en calcium assimilable, l'absorption du magnésium assimilable peut devenir difficile en raison de l'antagonisme qui peut se produire entre ces deux cations . Le rapport Ca/Mg permet de prévoir la possibilité d'existence de cet antagonisme dans notre parcelle. Le résultat obtenu du rapport Ca/Mg est de 3.57, il est compris dans l'intervalle  $1 \leq x < 8$  qui exclut l'existence de l'antagonisme entre le calcium et le magnésium (GROS, 1979).

La teneur en sulfates de l'horizon de surface de cette parcelle est optimale. La majeure partie du soufre contenu dans le sol est sous forme organique (SOLTNER, 1988), la richesse du sol de la parcelle en matière organique pourrait expliquer cet état de fertilité sulfaté de ce sol. Le coefficient de variation moyen de la parcelle montre une hétérogénéité notable au niveau parcellaire de la teneur en sulfates assimilables.

L'horizon de surface du sol de cette parcelle présente des teneurs satisfaisantes en calcium assimilable, en magnésium assimilable, et en sulfates assimilables. Ce sol pourrait donc satisfaire les besoins en éléments majeurs secondaires des agrumes au niveau de cette parcelle .

## 5. RELATION ENTRE L'ETAT NUTRITIONNEL ET L'ETAT DE FERTILITE DU SOL

### 5.1. Le calcium

La recherche du meilleur modèle d'ajustement de la relation statistiques entre la teneur en calcium foliaire (Y) et la teneur du sol en calcium assimilable (X) a donné un modèle polynomiale du second degré (figure 14) du type :

$$y = 0.019x^2 - 0.5851x + 8.2839 , n = 10, R^2 = 0.0822.$$

Le coefficient de détermination ( $R^2 = 0.0822$ ) montre que 8.22 % de la variation de la teneur foliaire en calcium sont expliquées par la variation de la teneur du sol en calcium assimilable. Cette contribution de l'influence de la teneur en calcium assimilable du sol sur l'état nutritionnel calcique du végétal semble faible puisque d'autres facteurs interviennent pour 91.78 % dans l'état nutritionnel en calcium du végétal

Le coefficient de corrélation  $r(\text{observé})$  , qui est égal à la racine carrée de  $R^2$ , est de 0.286, le  $r(\text{critique})$  pour un ddl égale à 8 et  $\alpha = 0.05$  est de 0.631. Une corrélation est significative lorsque le  $r(\text{observé})$  est supérieur au  $r(\text{critique})$ . Nos résultats montrent que le  $r(\text{observé}) < r(\text{critique})$ , la corrélation est donc non significative, c'est à dire qu'il n'y a pas de relation statistique significative entre la teneur foliaire en calcium et la teneur du sol en Calcium assimilable.



## 5.2. Le magnésium

La recherche du meilleur modèle d'ajustement de la relation statistiques entre la teneur en magnésium foliaire (Y) et la teneur du sol en magnésium assimilable (X) a donné un modèle polynomiale du second degré (figure 15) du type :

$$y = 0.6787x^2 - 5.3667x - 9.8541 \quad n = 10 \quad R^2 = 0.2042.$$

Le coefficient de détermination ( $R^2 = 0.2042$ ) montre que 20.42 % de la variation de la teneur foliaire en magnésium sont expliquées par la variation de la teneur du sol en magnésium assimilable. Cette contribution de l'influence de la teneur en magnésium assimilable du sol sur l'état nutritionnel magnésien du végétal semble faible puisque d'autres facteurs interviennent pour 79.58 % dans l'état nutritionnel en magnésium du végétal

Le coefficient de corrélation  $r(\text{observé})$ , qui est égal à la racine carrée de  $R^2$ , est de 0.451, le  $r(\text{critique})$  pour un ddl égale à 8 et  $\alpha = 0.05$  est de 0.631. . Nos résultats montrent que le  $r(\text{observé}) < r(\text{critique})$ , la corrélation est donc non significative, c'est à dire qu'il n'y a pas de relation statistique significative entre la teneur foliaire en magnésium et la teneur du sol en magnésium assimilable.



### 5.3. Les sulfates

La recherche du meilleur modèle d'ajustement de la relation statistiques entre la teneur en sulfates foliaires (Y) et la teneur du sol en sulfates assimilables (X) a donné un modèle polynomiale du second degré (figure 16) du type :

$$y = 0.1446x^2 - 0.7301x + 1.2814 \quad n = 10 \quad R^2 = 0.3113$$

Le coefficient de détermination ( $R^2 = 0.3113$ ) montre que 31.13 % de la variation de la teneur foliaire en sulfates sont expliquées par la variation de la teneur du sol en sulfates assimilables. Cette contribution de l'influence de la teneur en sulfates assimilables du sol sur l'état nutritionnel sulfaté du végétal semble modérée puisque d'autres facteurs interviennent pour 68.87 % dans l'état nutritionnel en sulfates du végétal

Le coefficient de corrélation  $r(\text{observé})$ , qui est égal à la racine carrée de  $R^2$ , est de 0.557, le  $r(\text{critique})$  pour un ddl égale à 8 et  $\alpha = 0.05$  est de 0.631. . Nos résultats montrent que le  $r(\text{observé}) < r(\text{critique})$ , la corrélation est donc non significative, c'est à dire qu'il n'y a pas de relation statistique significative entre la teneur foliaire en sulfates et la teneur du sol en sulfates assimilables.



## Discussion et conclusion

La teneur foliaire en calcium est à l'optimum, ceci s'explique par son abondance dans le sol, donc par sa disponibilité pour les plantes. Dans notre cas il n'y a pas de corrélation significative entre la teneur foliaire et la teneur du sol en calcium, ce qui indique que la teneur foliaire en calcium n'est pas en relation avec celle du sol.

Il n'y a pas de corrélation significative entre la teneur foliaire en magnésium et la teneur du sol, la teneur foliaire en magnésium est variable entre l'optimum et élevé, cela est due à sa disponibilité pour les arbres. Ce sol argileux favorise la rétention du magnésium, et par conséquent limite les risques des pertes par lixiviation. L'effet de l'antagonisme entre le calcium et le magnésium n'est pas envisagé dans notre cas, car le rapport Ca/Mg est à l'optimum.

Concernant les sulfates, la corrélation n'est pas significative entre la teneur foliaire et la teneur du sol. La teneur du sol en sulfates assimilables est élevée tandis que le végétal est déficient, il se pose un problème d'assimilabilité des sulfates du sol par le végétal. Les sulfates ne sont pas toujours utilisables par les plantes, dans les sols argileux riches en fer il se forme des combinaisons avec le fer ou l'aluminium qui ne libèrent que très lentement le soufre. L'anion  $\text{SO}_4^{--}$  est faiblement retenu, sa mobilité est intermédiaire entre les ions chlorure et phosphate (GONDE et JUSSIAUX, 1980).

Dans notre cas les teneurs foliaires en éléments minéraux ne sont pas en relation avec les teneurs du sol en ces éléments. Ce type de résultat obtenu pour le calcium et le magnésium peut être expliqué par une loi de la fertilisation qui est la loi des rendements moins que proportionnels (SOLTNER, 1990). Malgré des teneurs élevées en un élément dans le sol, sa teneur dans les feuilles augmente progressivement mais à un certain niveau cette augmentation s'arrête, la plante n'assimile que selon ses besoins.

## CONCLUSION GENERALE

Notre expérimentation ayant porté sur l'évaluation de l'état nutritionnel d'un verger d'agrumes contenant 10 variétés greffées sur trois porte-greffes différents (*Citrange troyer*, *Citrange carrizo* et *Poncirus trifoliata*). Les analyses ont porté sur les éléments majeurs secondaires.

Nos résultats d'analyses foliaires indiquent que, pour toutes les espèces et les variétés d'agrumes étudiées, le calcium et le magnésium sont à l'optimum, tandis que le soufre déficientes.

Les teneurs à l'optimum du calcium et du magnésium dans les feuilles sont dues à la richesse du sol en ces éléments et à l'équilibre entre le calcium assimilable et le magnésium assimilable.

Bien que le sol présente une teneur à l'optimum en sulfates, les feuilles sont déficientes en cet élément. Il se pose un problème d'assimilation des sulfates par le végétal.

Concernant l'effet de l'espèce sur la teneur foliaire, il s'avère que l'espèce n'a pas d'influence sur la teneur foliaire en calcium, en magnésium et en sulfates.

L'effet du porte-greffe sur la teneur foliaire n'est pas significatif pour les 3 éléments étudiés.

Concernant la relation-sol, les résultats montrent qu'il n'y a pas de relation entre la teneur foliaire et la teneur du sol en calcium, en magnésium et en sulfates.

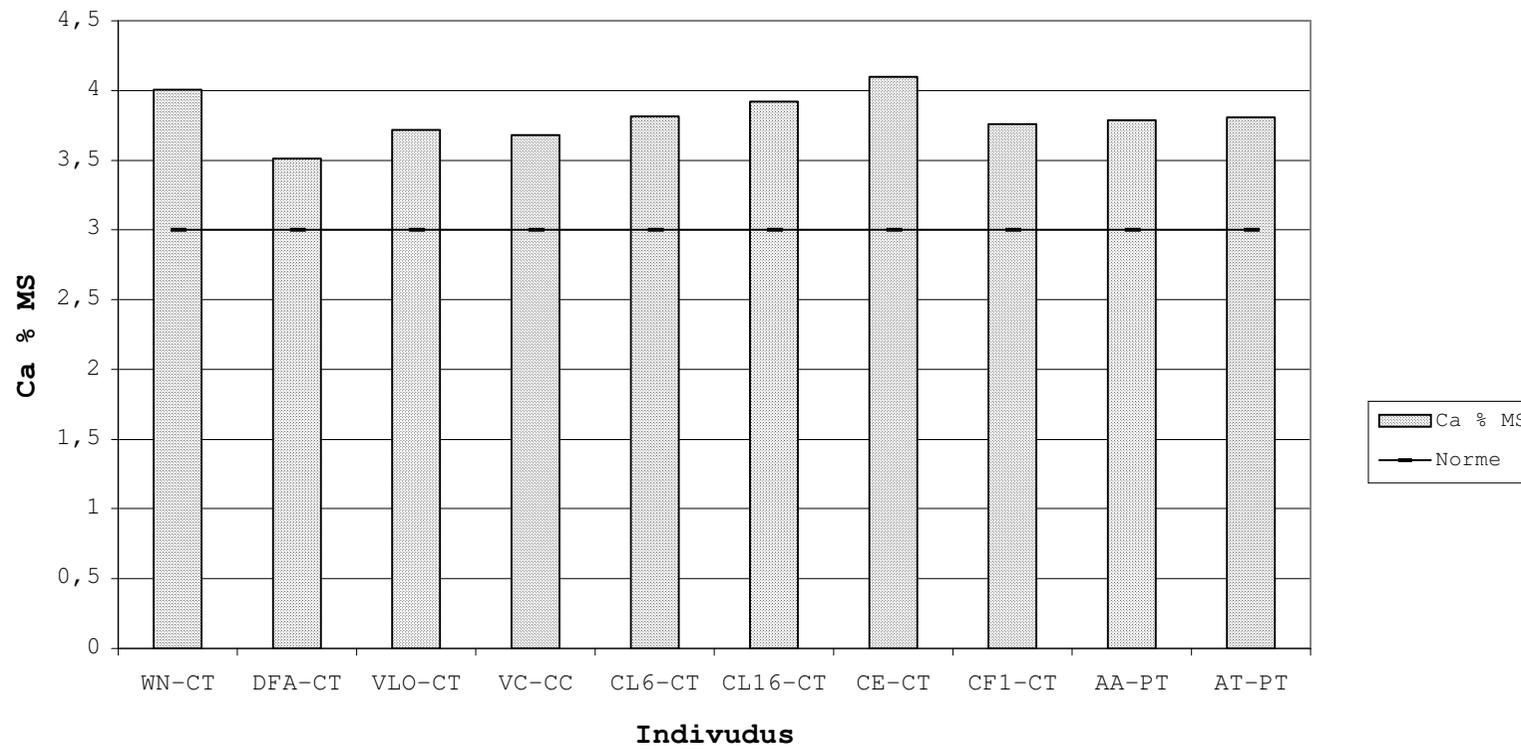
Plus généralement, ce travail a été réalisé dans un verger expérimental relativement jeune. Il montre que l'état nutritionnel des arbres étudiés est adéquat pour le calcium et le magnésium, il est déficient pour les sulfates.

L'espèce et le porte-greffe ne semble pas affecter la nutrition en éléments majeurs secondaires du verger agrumicole.

Les teneurs foliaires en éléments majeurs secondaires et les teneurs assimilables du sol ne sont pas corrélées.

Dans notre cas la relation sol-plante a été difficile à caractériser, elle nécessite d'autres travaux de recherches.





**Figure 2. Les teneurs foliaires en calcium.**

Tableau X. Les teneurs foliaires en magnésium en % de matière sèche.

Association greffon / Porte - greffe	Washington navel - Citrange troyer	Double fine améliorée- Citrange troyer	Valencia late olinda- Citrange troyer	Valencia compbell- Citrange carrizo	Citronnier lisbonne6- Citrange troyer	Citronnier lisbonne16- Citrange troyer	Citronnier eurêka- Citrange troyer	Citronnier femminello- Citrange troyer	Avana apérino- Poncirus trifolita	Avana tardivo- Poncirus trifolita
Teneur foliaire	0.82	0.45	0.85	0.75	0.72	0.75	0.60	0.85	0.57	0.55
CV %	11.60	12.83	11.76	7.69	6.89	13.33	30.42	6.79	16.65	10.49
Norme	0.7 - 1.0	0.3 - 0.6	0.7- 1.0	0.7- 1.0	0.7 - 1.0	0.7 - 1.0	0.3 - 0.6	0.7 - 1.0	0.3 - 0.6	0.3 - 0.6
Etat nutritionnel	élevé	Optimum	élevé	élevé	élevé	élevé	optimum	élevé	optimum	optimum

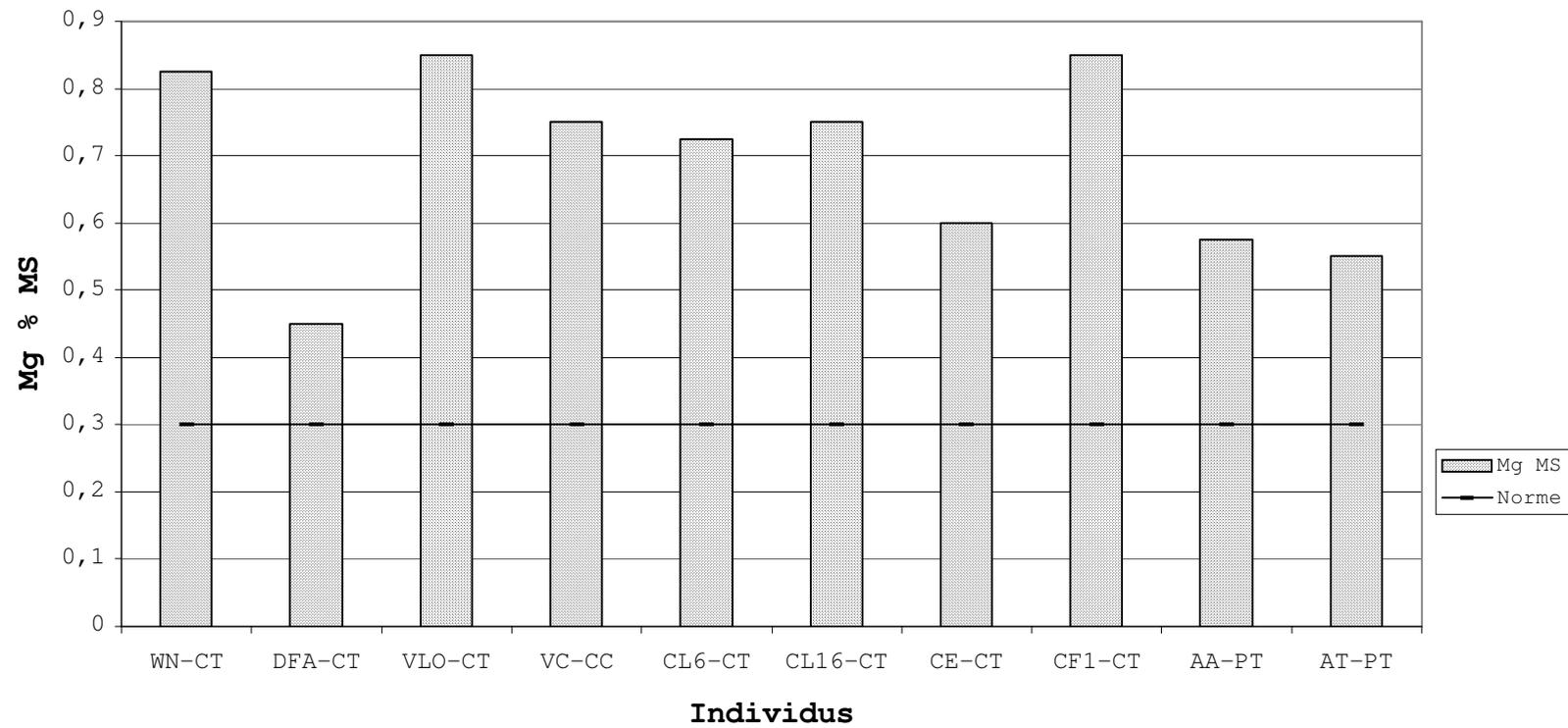
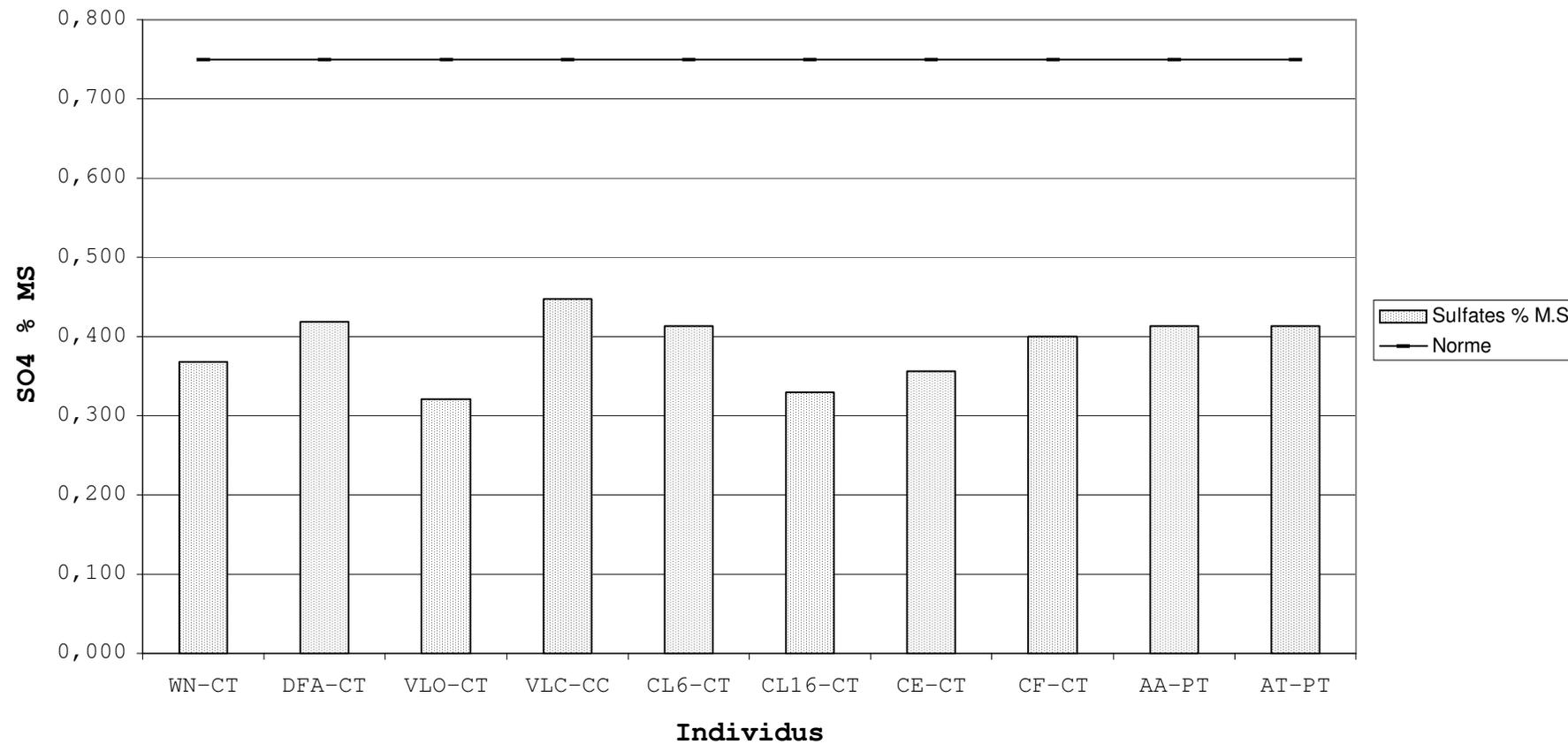


Figure 3. Teneurs foliaires en magnésium

Tableau XI. Les teneurs foliaires en sulfates en % de matière sèche.

Association greffon/ Porte-greffe	Washington navel - Citrange troyer	Double fine améliorée- Citrange troyer	Valencia late olinda- Citrange troyer	Valencia compbell- Citrange carrizo	Citronnier lisbonne6- Citrange troyer	Citronnier lisbonne16- Citrange troyer	Citronnier eurêka- Citrange troyer	Citronnier femminello - Citrange troyer	Avana apérino- Poncirus trifolita	Avana tardivo- Poncirus trifolita
Teneur foliaire	0.368	0.419	0.321	0.448	0.413	0.330	0.356	0.400	0.413	0.413
CV %	3.59	11.33	60.95	7.60	7.32	46.37	45.55	1.832	10.204	5.329
Norme	0.15- 0.39	0.40 - 0.57	0.15 - 0.39	0.40-0.57	0.40-0.57	0.15-0.39	0.15-0.39	0.40-0.57	0.40-0.57	0.40-0.57
Etat nutritionnel	Très faible	faible	Très faible	faible	faible	Très faible	Très faible	faible	faible	faible



**Figure 4. Les Teneurs foliaires en sulfates**

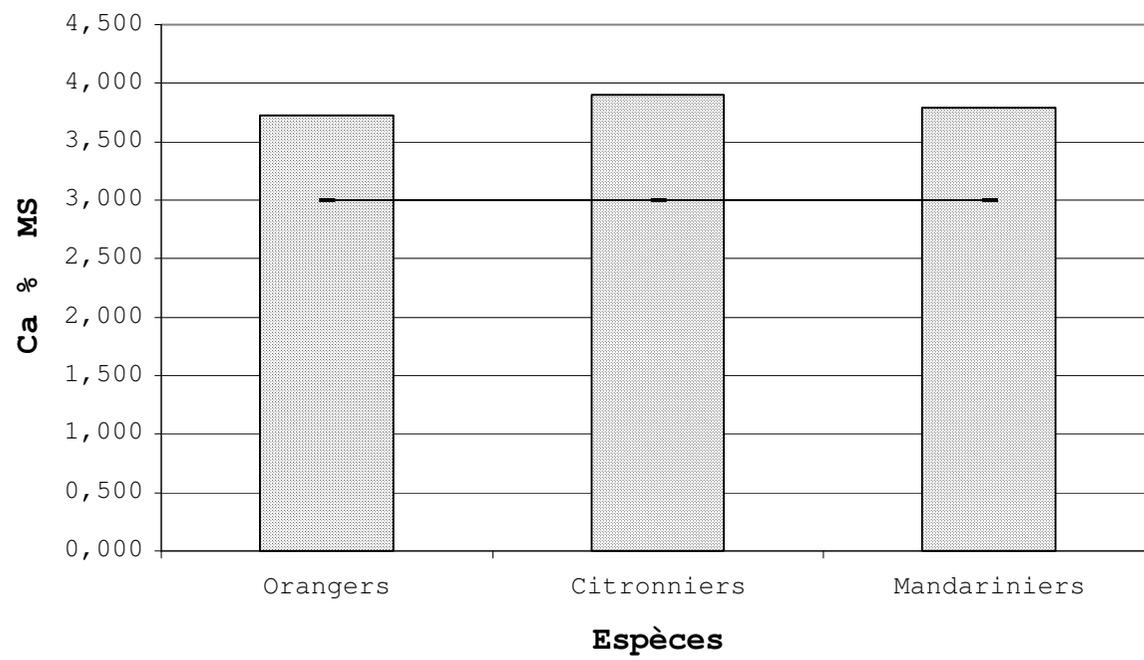


Figure 5. influence de l'espèce sur la teneur foliaire en calcium

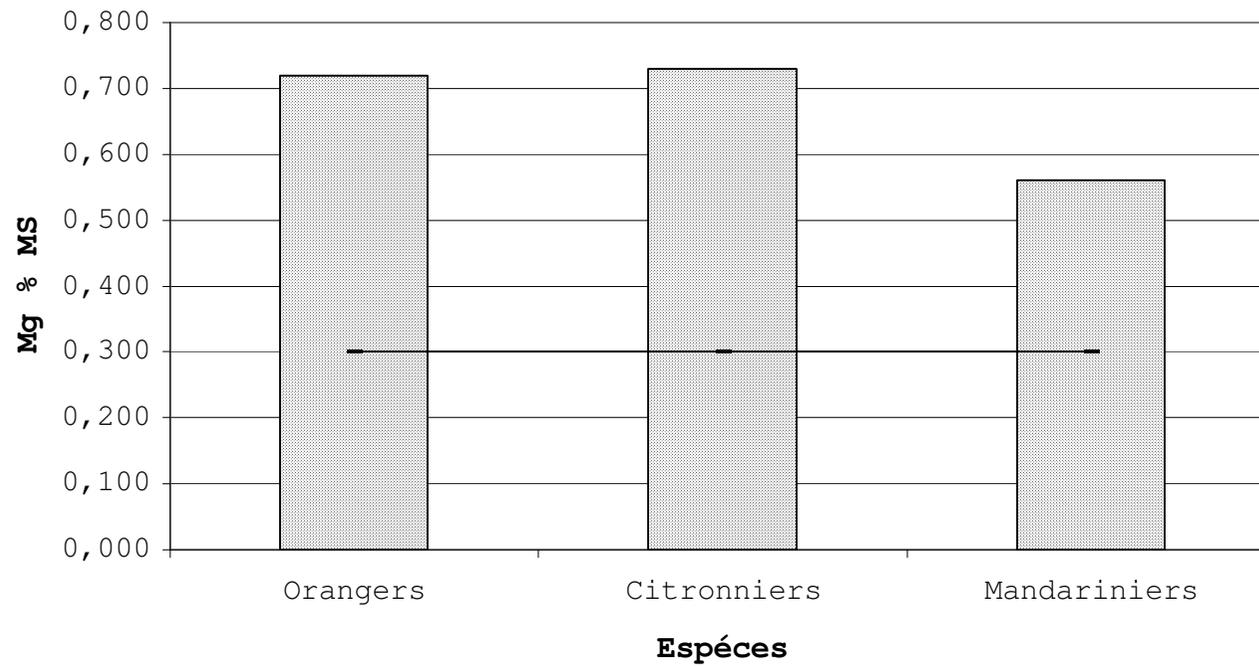


Figure 6. Influence de l'espèce sur la teneur foliaire en magnésium

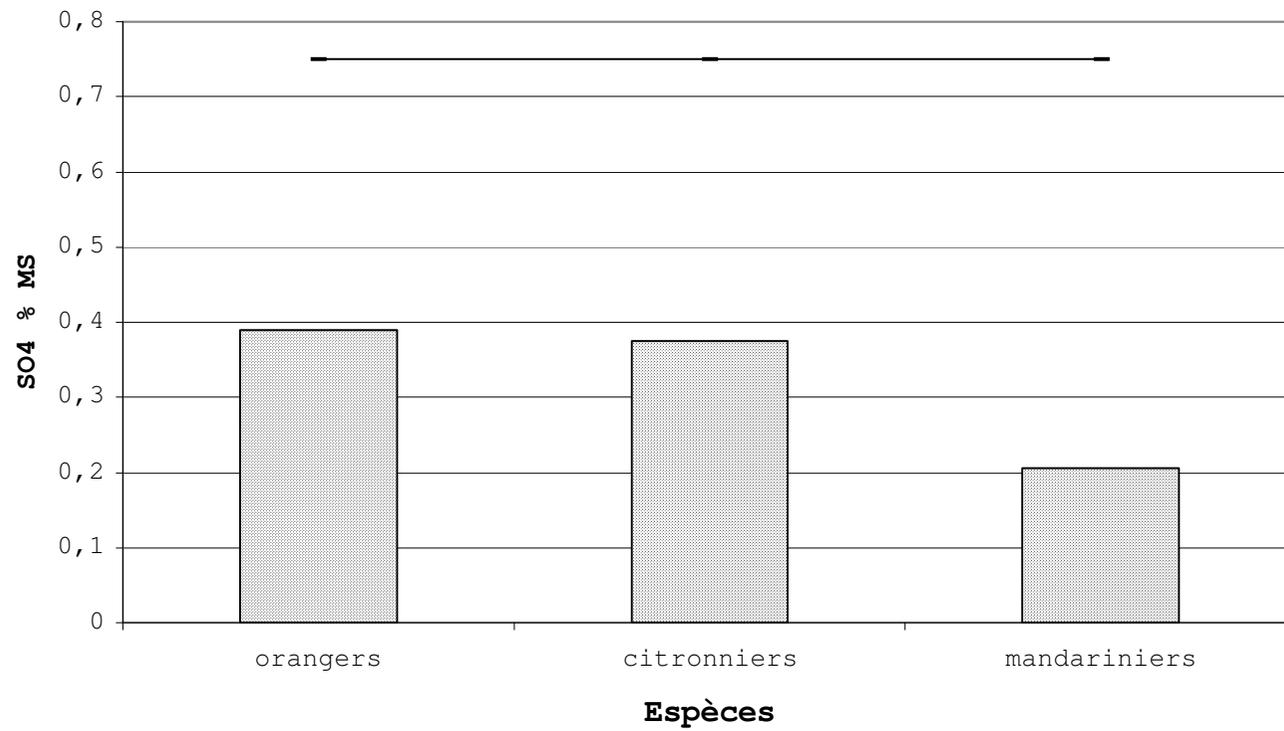


Figure 7. Influence de l'espèce sur la teneur foliaire en sulfates



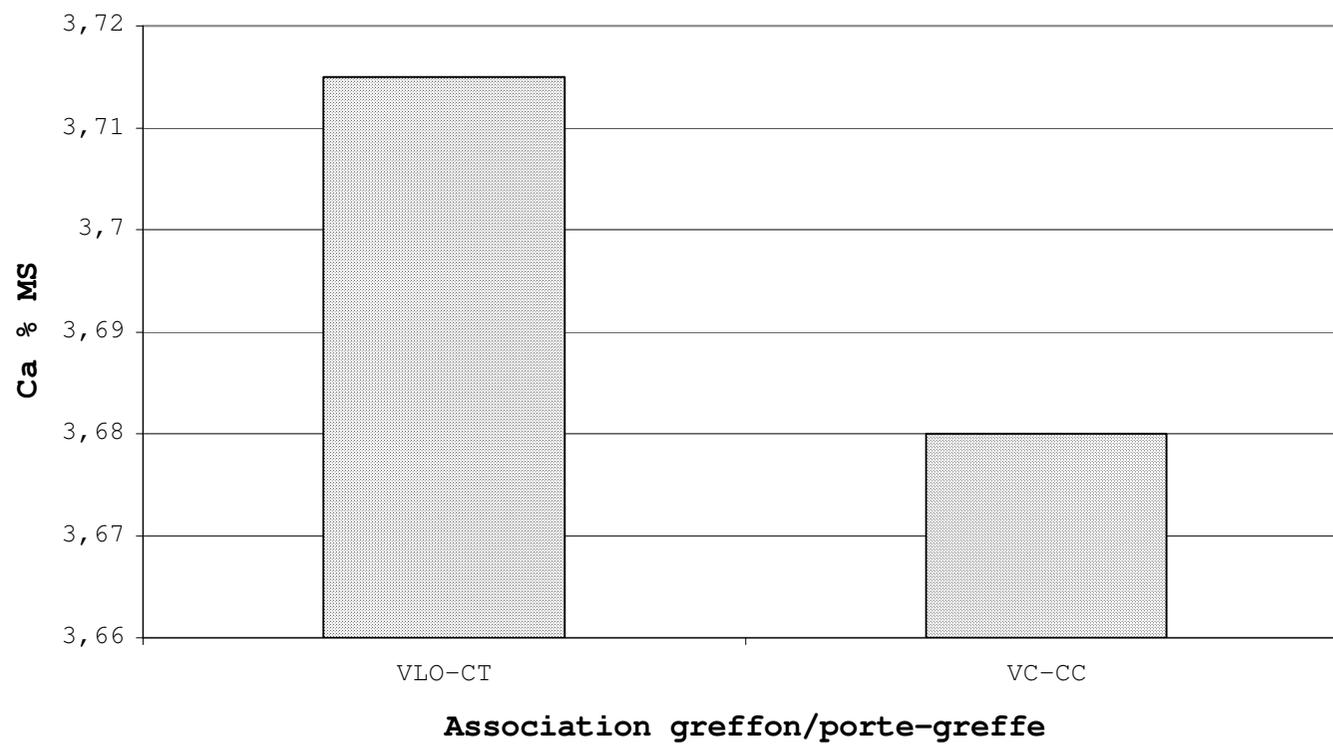
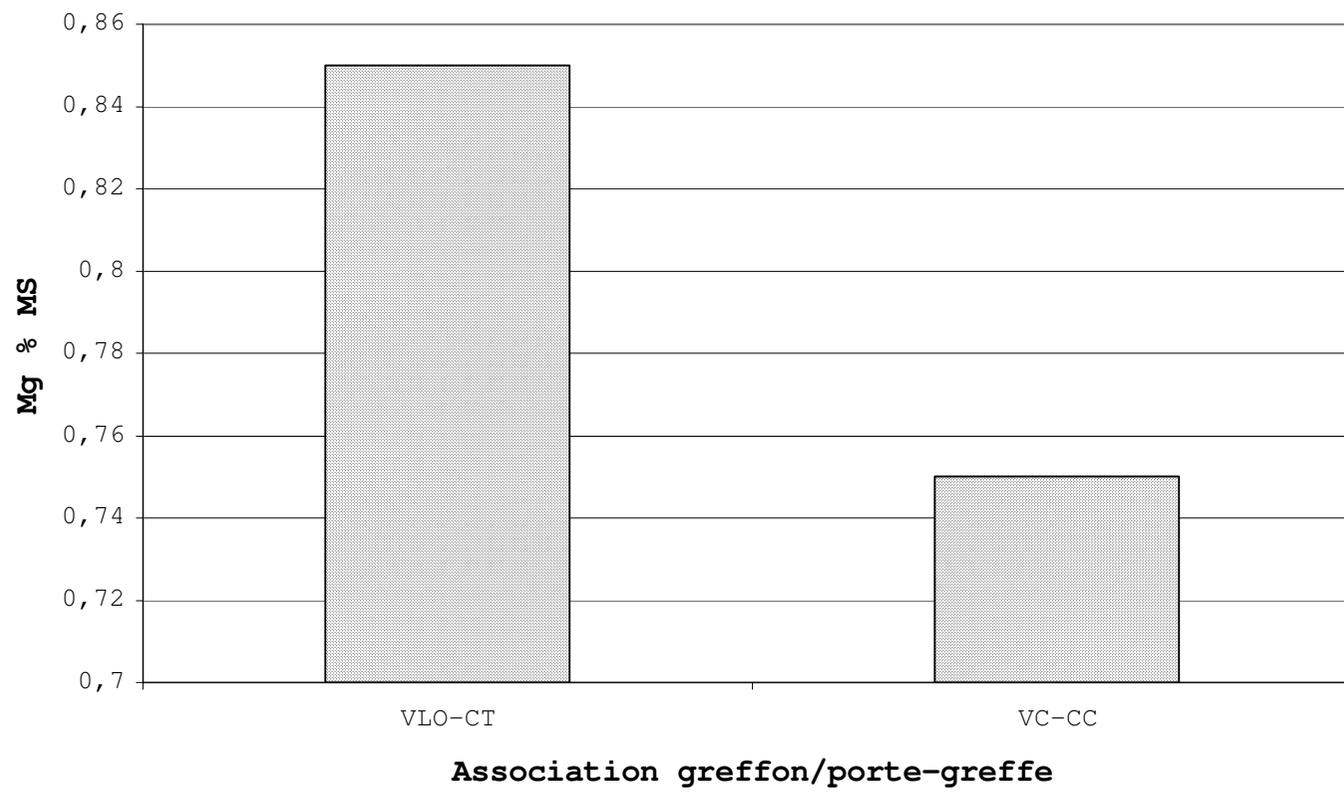
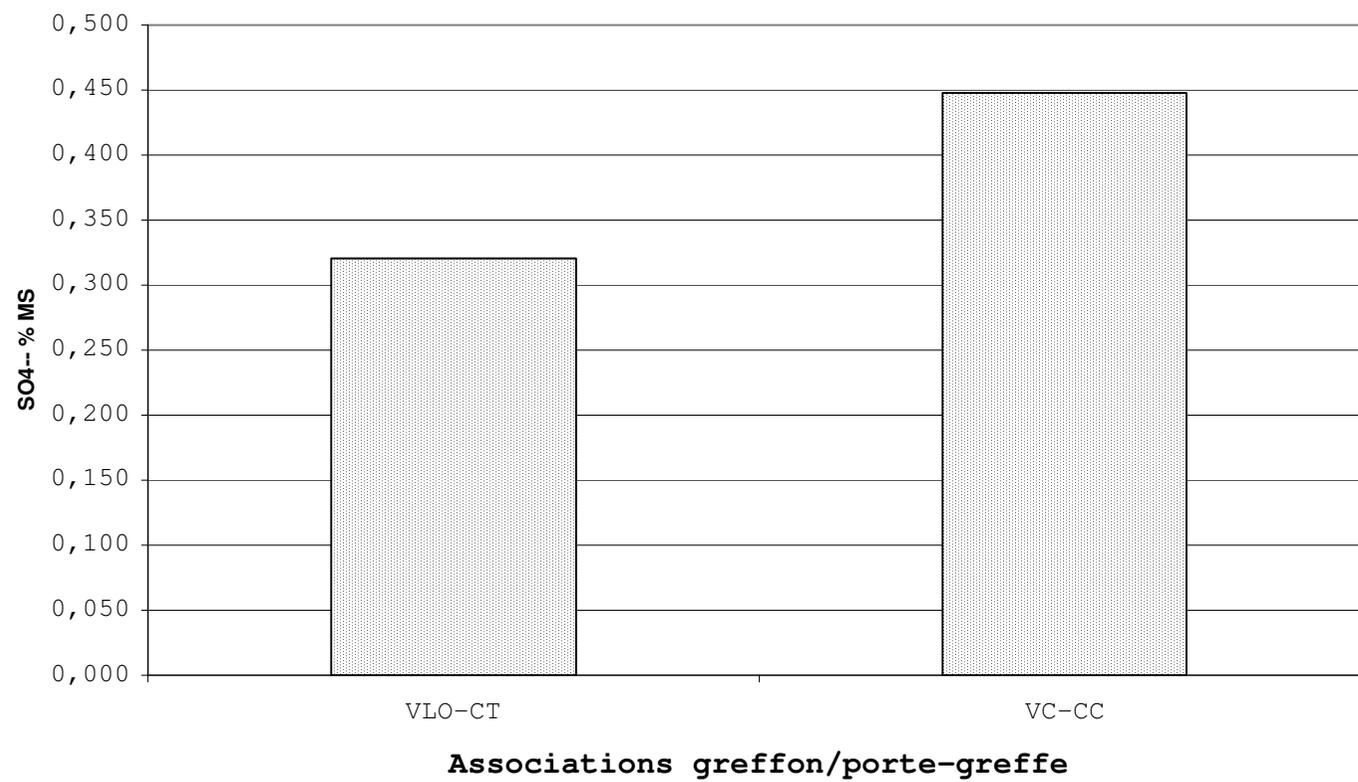


Figure 8. Effet du porte-greffe sur la teneur foliaire en calcium



**Figure 9. Effet du porte-greffe sur la teneur foliaire en magnésium**



**Figure 10. Effet du porte-greffe sur la teneur foliaire en sulfates**

Tableau XIX. Teneurs du sol en calcium assimilable.

Association greffon/ Porte- greffe	Washington navel - Citrange troyer	Double fine améliorée- Citrange troyer	Valencia late olinda- Citrange troyer	Valencia compbell- Citrange carrizo	Citronnier lisbonne6- Citrange troyer	Citronnier lisbonne16- Citrange troyer	Citronnier eurêka- Citrange troyer	Citronnier femminello - Citrange troyer	Avana apérino- Poncirus trifolita	Avana tardivo- Poncirus trifolita
Teneur du sol meq/100g	15.950	15.675	14.70	14.975	12.850	13.325	13.700	13.175	15.525	15.575
CV %	1.31	6.32	30.05	23.55	14.13	21.11	14.54	18.92	19.28	7.12
Norme	10 - 20	10 - 20	10 - 20	10 - 20	10 - 20	10 - 20	10 - 20	10 - 20	10 - 20	10 - 20
Interprétation	élevé	élevé	élevé	élevé	Elevé	élevé	élevé	élevé	élevé	Elevé

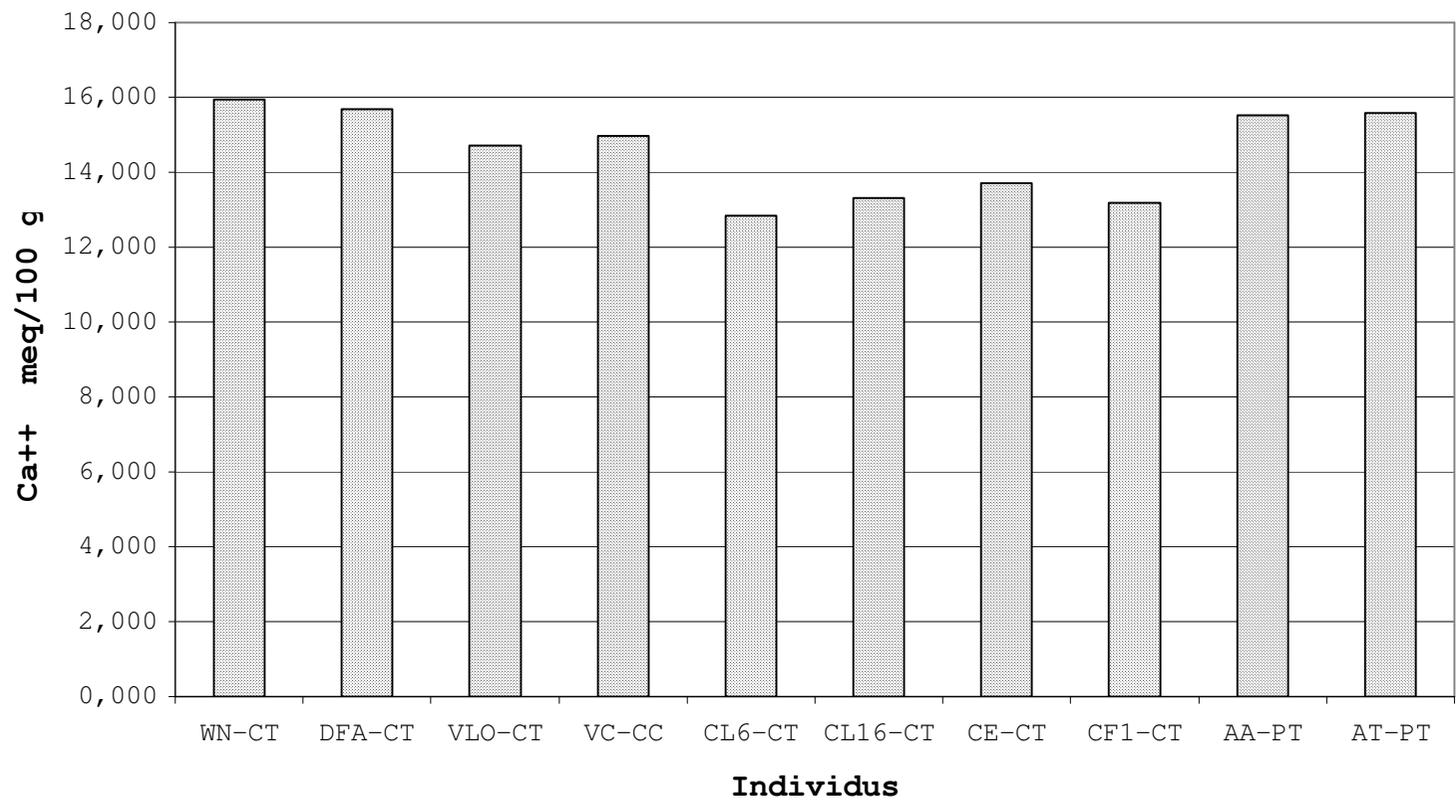


Figure 11. Les teneurs du sol en calcium



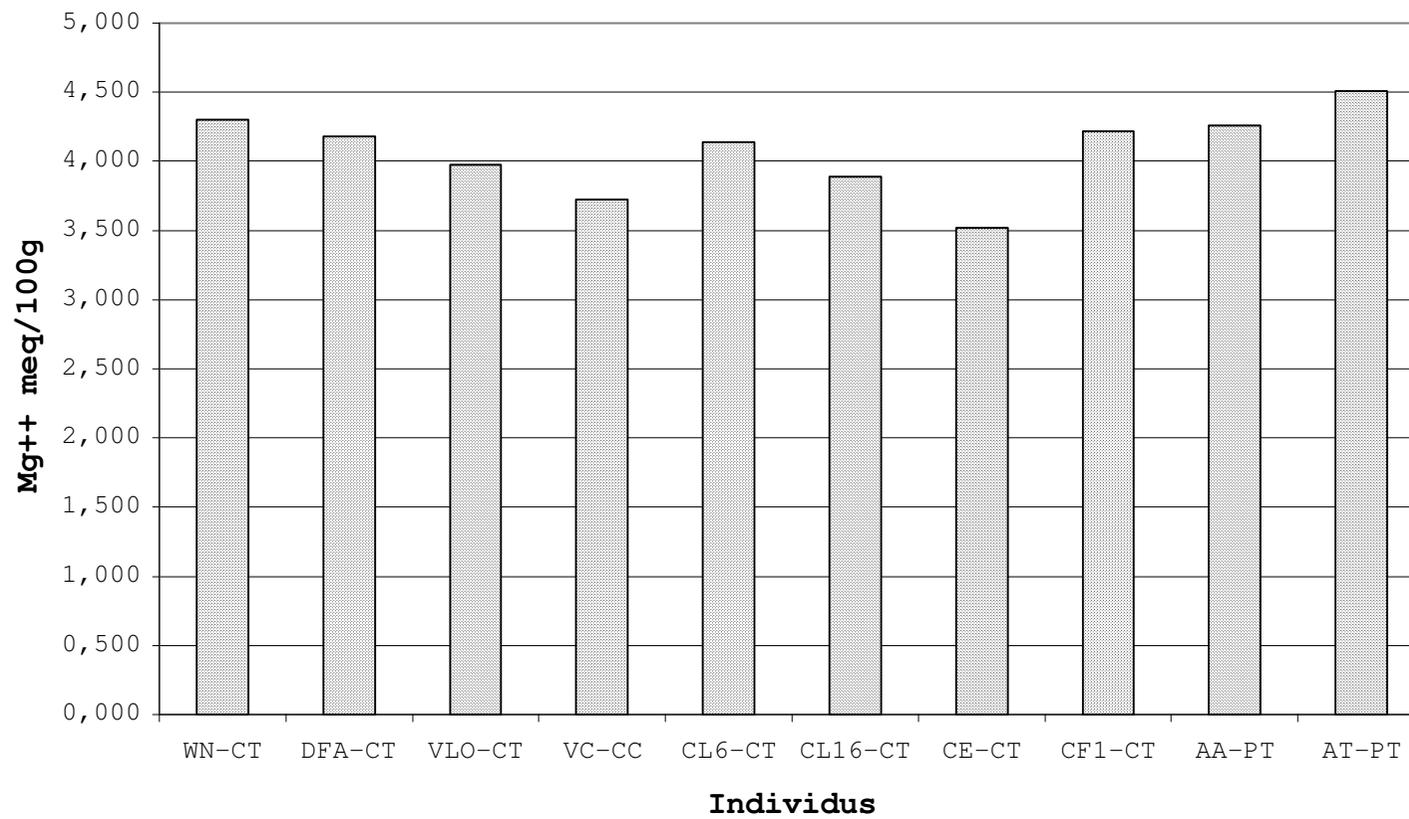
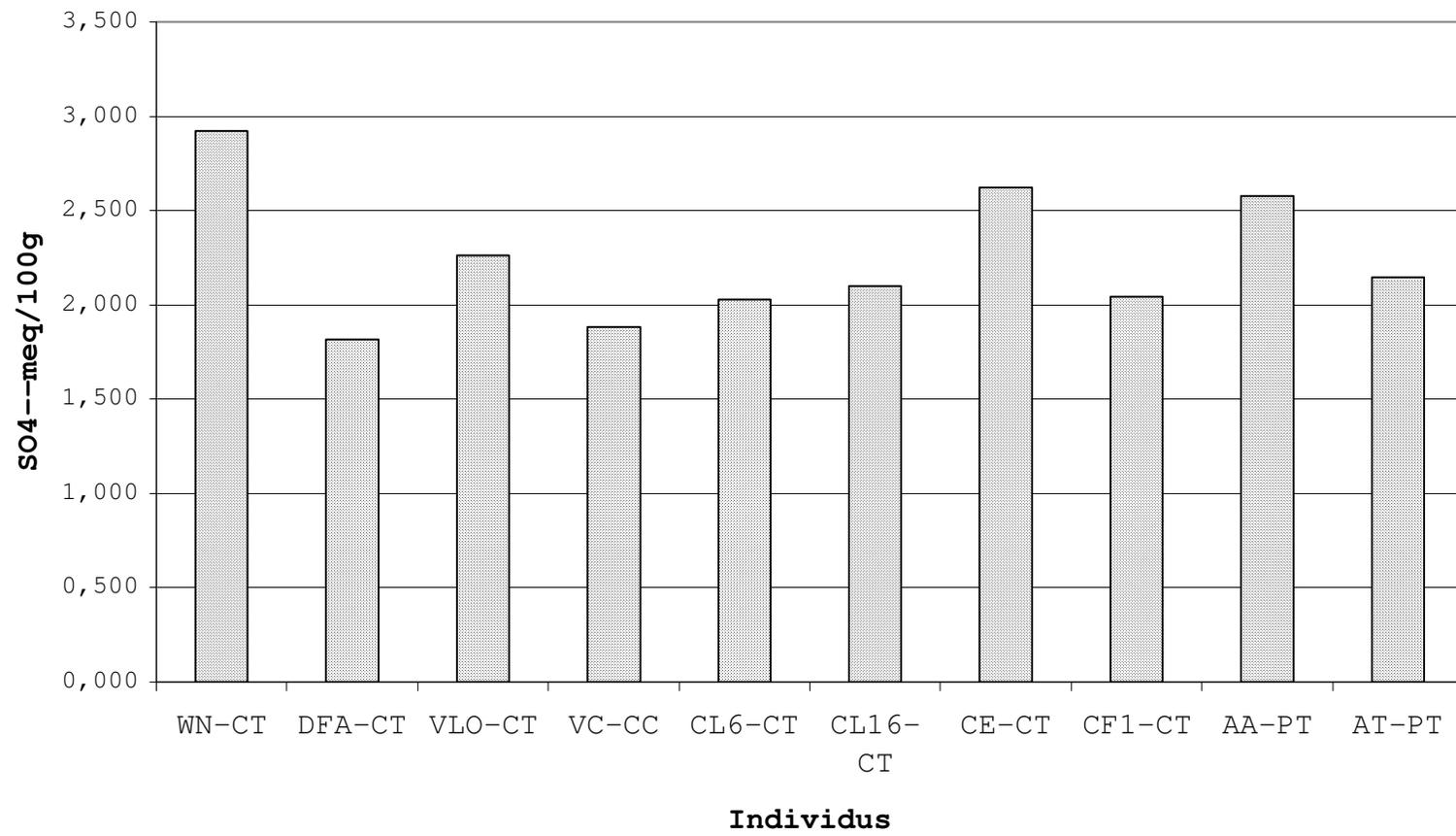


Figure 12. les teneurs du sol en magnésium assimilable





**Figure 13. Teneur du sol en sulfates**

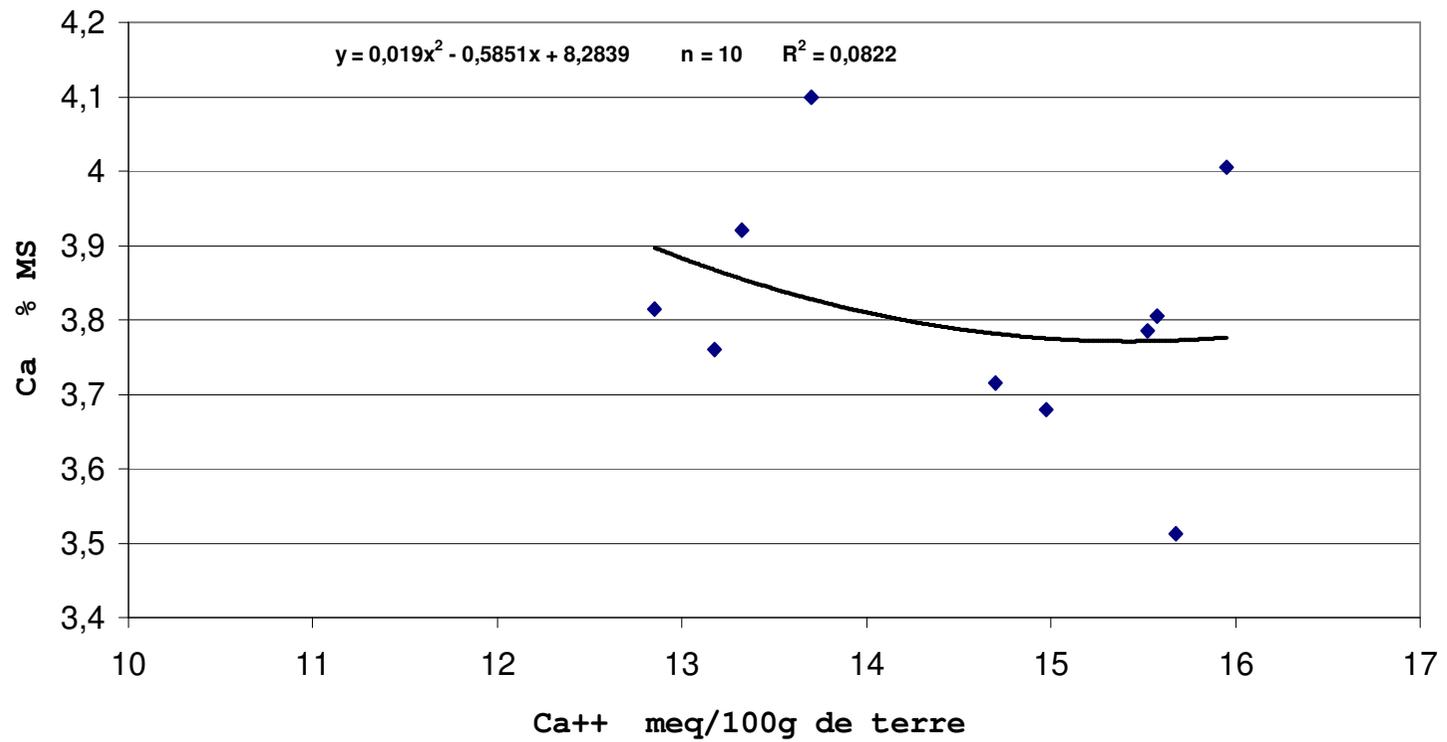


Figure 14. relation entre la teneur foliaire et la teneur du sol en calcium

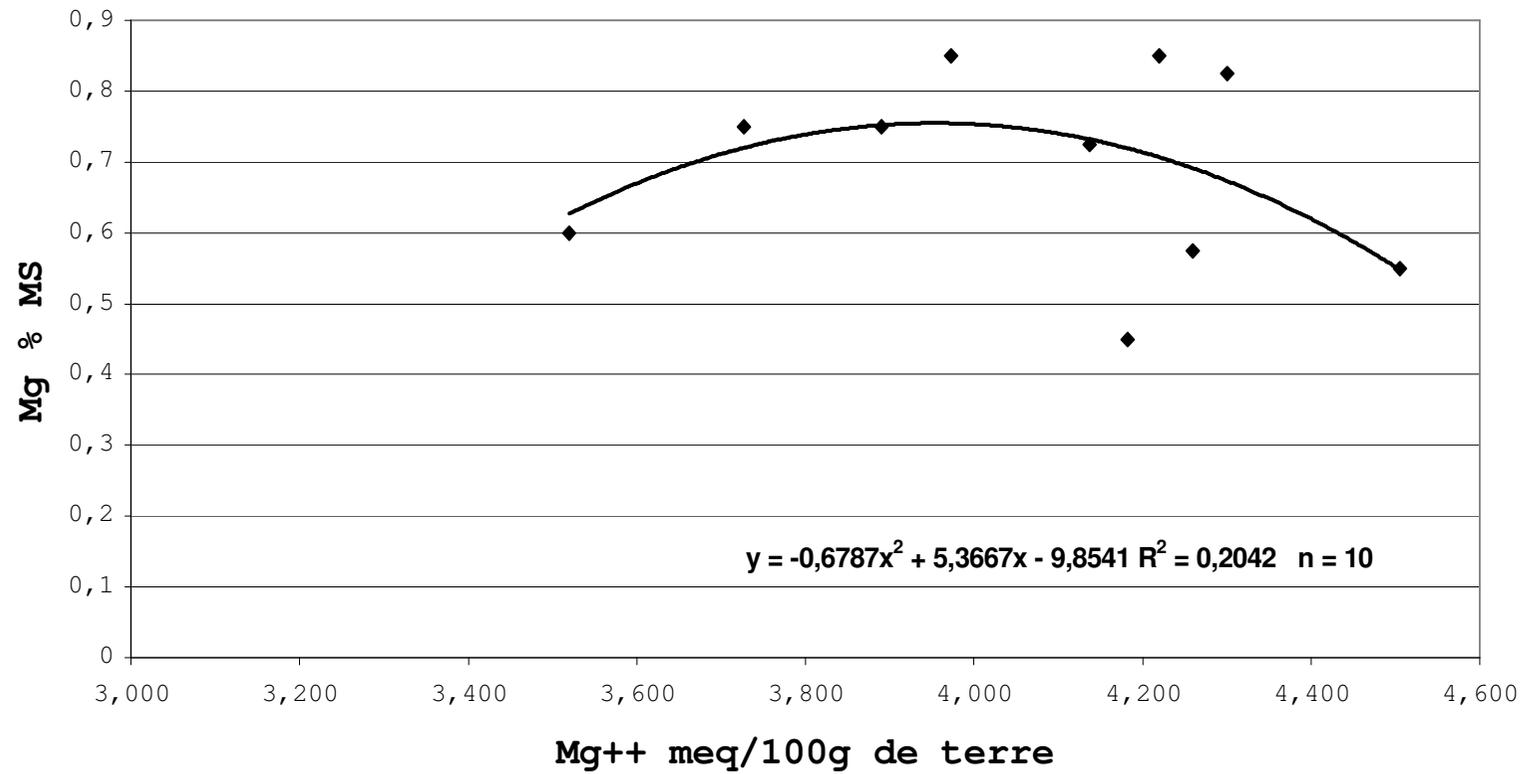


Figure 15. Relation entre la teneur foliaire et la teneur du sol en magnésium

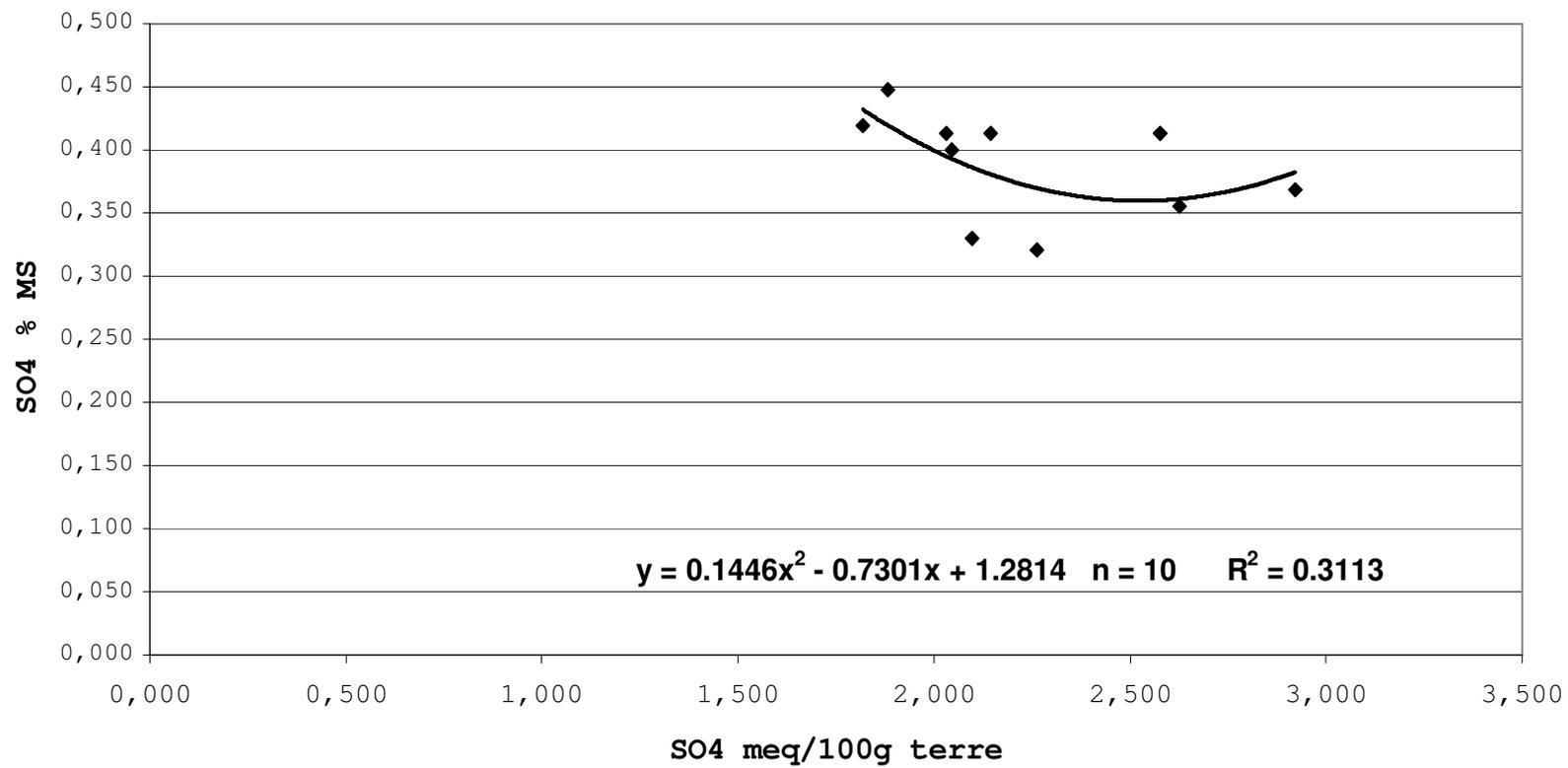


Figure 16. Relation entre la teneur foliaire et la teneur du sol en sulfates

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANRH. - 1992 : Etude agropédologique de la Mitidja centre.  
Carte pédologique, dressée par BENKHADA Z et BERKEMEL L.
- BERKANE M. - 1991 : L'évaluation de l'état nutritif de l'oranger (*Valencia late*) par le diagnostic foliaire.  
Thèse ing, INES Blida. 65p.
- CASSIN J et BLONDEL L. - 1988 : Influence de trois porte-greffes et de la fertilisation sur la croissance, le rendement et la composition minérale des feuilles.  
Fruits, vol 30, n° 12. pp 757 - 770.
- CHAPMAN H D. - 1960 : Le diagnostic foliaire et l'analyse du sol de plantation comme moyen de guider les pratiques de fertilisation du sol.  
Fruits, 15, 10. pp 435 - 441.
- CHAPMAN H D. - 1964 : Techniques proposées pour le prélèvement et la manutention des échantillons foliaires.  
Fruits, vol 19, n°7. pp 367 - 370.
- CLINE R A et Mc NEILL B. - 2003 : Les analyses foliaires pour les cultures fruitières.  
Agriculture et affaires rurales. Ontario. pp 2 - 6.
- DENIS J F. - 2000 : La fertilisation de l'olivier en magnésium.  
AFIDOL, 2000, 12p.
- FAEDY L. - 2003 : Prélèvement - échantillonnage diagnostic foliaire des vergers  
SADEF- Pôle d'aspache. n°8, pp 12 - 15.
- GAGNARD J, HUGUET C, RYSER J P. - 1988 : L'analyse du sol et du végétal dans la conduite de la fertilisation.  
Edition - diffusion : ACTA. 22p.
- GAUTIER M. - 1975 : Sept années de contrôle de nutrition par le diagnostic foliaire dans les vergers de la loir et cher.  
Arboriculture fruitière, n°201, pp 27 - 35.
- GENEST R. - 2002 : Les éléments nutritifs.  
Eléments nécessaires aux plantes. Les beaux jardins, ver.2.5-  
Le jardin potager. 17p.

-GHEZALI N E. - 1993 : Contrôle par le diagnostic foliaire de l'état nutritif de Satsuma owari « *Citrus unshiu* » greffée sur le bigaradier « *Citrus aurantium* » et citrange troyer « *Citrus sinensis* var. » ( washington navel\**Poncirus trifoliata*).

Thèse ing, INES Blida. 67p.

-GIAMMARI M. - 1995 : Symposium international sur les mandarines en Méditerranée.

Station de recherches agronomiques - INRA-CIRAD.

San Giuliano du 5-11 mars 1995.

-GONDE R et JUSSIAUX M. - 1980 : Cours d'agriculture moderne. 9<sup>ème</sup> édition, la maison rustique. 916p.

-GORTON B. - 1954 : Relation of calcium and potassium accumulation in citrus as influenced by rootstock and salinity of irrigation water.

Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 66p.

-GRIFFON M et LOEILLET D. - 2000 : Production et consommation d'agrumes dans le monde.

Comptes rendues de l'académie d'agriculture de France. Vol. 86, n°8 - 2000. pp 255 - 271.

-GROS A. - 1979 : Engrais. Guide pratique de la fertilisation.

Edition Maison Rustique, Paris, 430p.

-GYSI C, RYSER J P et SHMID A. - 2000 : Données de base pour la fumure en arboriculture fruitière.

FAWF aseicule n° 15.

-HAMDI PACHA A. - 1976 : Diagnostic foliaire chez les agrumes, mise au point des méthodes d'échantillonnages. Recherche de définitions « standards » applicables à la culture des agrumes en Algérie. These ing, INA El Harrach. 57p.

-HATATBA R. - 1978 : Etat nutritionnel de quelques vergers de clémentinier de la Mitidja et du Sahel par la méthode du diagnostic foliaire.

Thèse ing, INA El Harrach. 65p.

-IDAF. - 1976 : Les carences des agrumes.

Direction des recherches et de développement. 57p.

INRA-CIRAD. - 2003 : Les agrumes.

Service de recherche agronomique (SRA). San Giuliano, N°20, 230p.

- ITAF. - 1995 : Agrumiculture 2  
Conduite d'un verger d'agrumes.  
Ministère de l'agriculture. Nov. 1995, 60 p.
- JACQUEMOND et CURK. - 2000 : Les porte-greffe, composante  
clef d'une agrumiculture durable.
- SRA Inra-Cirad, San Giuliano, 20230 San Nicolao, Corse,  
France
- KENGUE J. - 2001 : Safon, comment cultiver le safontier.  
CLC. International centre for Under Crops. 25p.
- KHELIL A. - 1978 : Fertilisation de la vigne et des arbres  
fruitiers.  
Polycopie. 32p.
- KHELIL A. - 1989 : Nutrition et fertilisation des arbres  
fruitiers et de la vigne.  
Polycopie O.P.U. 67p.
- LEVI J P. - 1958 : Les applications du diagnostic foliaire  
aux agrumes.  
Fruits, 13, 9 - 10. pp 337 - 388.
- LOEILLET D. - 1999 : Les agrumes, le marché.  
CIRAD. Flhor. 12p.
- LOUSSERT R. - 1985 : Les agrumes.  
Ed. J.B. Baillièrè, paris, 136p.
- LOUSSERT R. - 1987 : Les agrumes.  
Volume 1, Arboriculture. Editions scientifiques  
universitaires.  
Lavoisier, 113p.
- MARCHAL J, CASSIN J et MARTIN-PREVEL P. - 1975 : Variation  
saisonnìère de la composition minérale des feuilles de  
clémentinier greffé sur bigaradier, citrange troyer et  
poncirus trifoliata en corse.  
Fruits d'outre mer, vol 30, n° 05. pp 329 - 337.
- MARCHAL J. - 1984 : Les agrumes.  
Chp 8. L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation  
des plantes tempérées et tropicales. Ed Lavoisier. p 361 -  
398
- MARTIN-PRRVEL P. - 1965 : Echantillonnage des agrumes pour  
le diagnostic foliaire, influence du caractère fructifère et  
non fructifère, de leur hauteur et de leur ombrage sur la  
composition minérale.  
Fruits, vol 21, n°11. pp 595 - 603.

-Ministère de l'Agriculture. 1972 : Etude d'amélioration et de développement de l'Agrumiculture Algérienne.  
Plan de synthèse de présentation, Ministère de l'Agriculture. 29p.

-Ministère de l'Agriculture. 1985 : Etude sur la restructuration et la rénovation du verger agrumicole.  
Rapport 1<sup>ère</sup> phase relatif à la description et au diagnostic du verger.  
Bureau national pour le développement rural. 43p.

-NADIR M. - 1971 : Méthodes d'échantillonnage des feuilles d'agrumes au Maroc pour le diagnostic foliaire.  
ELAWAMIA N 23. pp 102 - 123.

-PAGE J. - 2003 : Le diagnostic des carences et des déficiences minérale du citronnier.  
L'organisme scientifique français spécialisé en agronomie tropicale, CIRAD. 7p.

-PRALORAN J C. - 1971 : Les agrumes.  
Collections techniques agricoles et productions tropicales.  
Ed. G.P. maison neuve. 505p.

-REUTHER W et SMITH P F. - 1950 : Leaf analysis of citrus.  
Fruits nutrition. Ed. by childers. pp 257 - 294.

-SAADI A. - 1983 : Etat nutritionnel et période de stabilité de deux espèces d'agrumes : clémentinier et oranger cultivées au domaine Djoumhouria à Meftah.  
Thèse ing, INA El Harrach. 73p.

-SALETTE J. - 2000 : Les agrumes.  
Compte rendus de l'académie d'agriculture de France.  
Vol. 86, n°8, 2000,pp 191 - 196.

-SOING P et VAYESSE P. - 1999 : Fertilisation des vergers : Environnement et qualité.  
Guide pratique, CTIFL. 71p.

-SOLTNER D. - 1988 : Les bases de la production végétale.  
Tome 1. Le : collection sciences et techniques agricoles.  
16<sup>ème</sup> édition. 453p.

-SOLTNER D. - 2000 : Les bases de la production végétale : le climat-la plante.  
Tome 1 : le sol, 18<sup>ème</sup> édition, 466p.

-VAUCLIN M. - 1982 : Méthodes d'étude de la variabilité spatiale des propriétés d'un sol.  
*Les colloques INRA, N° 15, pp. 6-43*

-YOUNSI M. - 1990 : Amélioration variétale : sélection nucellaire de valencia late (*Citrus sinencis* L. OSBEK).  
Mémoire de fin d'étude I.A. Blida. 68p.