Université Ibn Tofaïl

Faculté des sciences Kenitra

Département des sciences de la vie

Mémoire de Master

Master : Biologie, Santé et Environnement

Parcours : *Valorisation des ressources végétales*

Présenté par :AIT-OUAZIZE Mohamed

Pour l'obtention du diplôme de Master sous le thème

Soutenu le : 26/06/2020

Effet de la fertilisation foliaire potassique sur la production et la qualité des fruits de la clémentine de Berkane

Devant la commission d'examen composée de :

Pr. M. IBRIZ	*Faculté des sciences de Kenitra*	*Président*
Dr. A. HAMZA	*INRA de Kenitra*	*Encadrant*
Pr. M. IBRIZ.	*Faculté des sciences de Kenitra*	*Co-encadrant*
Pr. R. RAMDAN.	*Faculté des sciences de Kenitra*	*Examinatrice*

Promotion 2016/2018

REMERCIEMENTS

Je tiens, en premier lieu à remercier Dieu le tout puissant qui m'a donné le courage, la volonté, la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, et à titre de reconnaissance, je tiens à remercier sincèrement et à exprimer mon profond respect et toute ma gratitude à mes encadrant « Pr. IBRIZ MOHAMMED » et « Dr. HAMZA ABDELHAK » pour l'orientation, la confiance, la patience, le précieux conseil, l'aide et le temps qu'ils ont bien voulu me consacrer durant toute la période de préparation de ce mémoire.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du … ?

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à tous les professeurs qui m'ont donné les bases de la science, qui m'ont enseigné et qui par leurs compétences m'ont soutenu dans la poursuite de mes études.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis, à "Monsieur Samdi Ali" et "Mon ami ELFinou Hamza" et Mon Frère qui m'a toujours soutenu et encouragé de près ou de loin à l'élaboration et ce mémoire que Dieu les récompense.

Je remercie toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Un grand merci à tous

Dédicace

Je dédie ce travail :

À mes parents, qu'ils trouvent ici toute ma
gratitude pour leur soutien tout au long
de mes études

À mes sœurs et mes frères

À mes deux Professeurs

Mohammed Ibriz, Hamza Abdelhak

Je tiens à témoigner mon

Respect et ma reconnaissance

À tous mes amies et collègues.

Tableau des abréviations

L'abréviation	Le mot complet
C	Degré Celsius
FAO	Food and Agriculture Organisation
FDC	Inventaires Français du Développement Communicatif
G	Gramme
Ha	Hectare
Kha	Kilohectare
M	Mètre
MAPM	Ministère de l'Agriculture et des Pêches maritimes
Mt	Millions de tonnes
OEAP	Observatoire économique de l'achat public

Résumé

La clémentine est très appréciée par le consommateur en raison de la bonne qualité aussi bien gustative que pomologique. De même, le Maroc est parmi les grands pays exportateurs de cette culture. Dans le présent travail, nous nous sommes intéressés à l'étude de l'effet de la fertilisation foliaire potassique sur la production et la qualité des fruits de la clémentine Berkane. L'essai est conduit au Domaine Agricole de Trifa (Ahfir) dans une parcelle de clémentinier 'Berkane' (*Citrus reticulata Blanco*) greffé sur *Citrange carrizo* avec un écartement (2 x 6 m), Les arbres de cette parcelle sont âgés de 7 ans, conduit sur des ados est irrigués en goutte à goutte. Le sol de la parcelle d'essai est caractérisé par un pH légèrement alcalin (7,9), un taux élevé de salinité (CE= 0,4 ms) et une texture limon-argileux, pourvus en matière organique, en phosphore et en potasse mais les teneurs en ces éléments sont acceptables et suffisantes pour une production de clémentinier. Les traitements de fertilisation foliaire potassique étudiés sont : (T7) Témoin sans application foliaire, (T1) Une application foliaire de K_2SO_4 à 2 % aux 2^{ème}Applications foliaire, (T2) Une application foliaire de K_2SO_4 à 2% au 3ème Application foliaire, (T3) Une application foliaire de K_2SO_4 à 3 % au 2^{ème}Applications foliaire, (T4) Une application foliaire de K_2SO_4 à 3% au 3ème Application foliaire, (T5) et (T6) deux applications foliaires de K_2SO_4 à 4 % l'un au 2ème l'autre au 3ème Application foliaire.

L'analyse se focalise sur le rendement et la qualité : l'indice de coloration varie entre 17,17 et 19 avec l'indice le plus élevé est observé pour le traitement 3, on outre le poids moyen des fruite varie entre 82,06 et 87,76 g, en effet, les traitements présentant un poids supérieur sont T6, T5, T2.Tandis que le calibre moyen des fruits varie entre 59 et 60,59 mm avec un calibre élevé chez le traitement 6, ainsi la teneur en jus varie entre 45,70 et 48,80 % et la valeur maximale du pourcentage de jus est obtenue chez le traitement 7, les niveaux d'acidité ont varié entre 0,70 chez le traitement 7 et 0,80 chez le traitement 4, par contre la teneur en sucre est le seul paramètre ou on a constaté une augmentation chez tout les traitements par rapport au témoin, pour le rendement, la masse obtenue est comprise entre 37,12 Kg chez le traitement 7 et 44,89 chez le traitement 4. De même, les résultats ont montré que l'effet de la fertilisation foliaire potassique sur le rendement est significatif par contre son effet sur la qualité (teneur en jus, acidité, coloration, calibre, poids) était non significatif.

Mots clés : Agrumes, qualité, potassium, rendement, fertilisation foliaire.

Abstract

Clementine is very appreciated by the consumer because of the good quality both taste and pomological. Similarly, Morocco is among the major exporting countries of this culture. In this work, we are interested in studying the effect of potassium leaf fertilization on the production and quality of Berkane clementine fruits. The trial is conducted at the Trifa Agricultural Domain (Ahfir) in a plot of 'Berkane' clementine (Citrus reticulata Blanco) grafted on Citrange carrizo with a spacing (2 x 6 m), The trees in this plot are young (7 years), driven on of teens is irrigated drip. The soil of the test plot is characterized by a slightly alkaline pH (7.9), a high salinity level (EC = 0.4 ms) and a silty-clay texture, provided with organic matter, phosphorus and potash but the contents of these elements are acceptable and sufficient for a production of clementine. The potassium foliar fertilization treatments studied are: (T7) Control without foliar application, (T1) A foliar application of 2% K2SO4 at the 2nd Foliar applications, (T2) A foliar application of 2% K2SO4 at the 3rd foliar application, (T3) A foliar application of K2SO4 at 3% in the 2nd Foliar applications, (T4) A foliar application of K2SO4 at 3% in the 3rd Foliar application, (T5) and (T6) two foliar applications of K2SO4 at 4% one in the 2nd l other at the 3rd Foliar Application. The analysis focuses on the yield and the quality: the color index varies between 17.17 and 19 with the highest index observed for treatment 3, one also the average weight of the fruit varies between 82.06 and 87.76 g, in fact, the treatments having a higher weight are T6, T5, T2. While the average size of the fruits varies between 59 and 60.59 mm with a large size in treatment 6, so the content juice varies between 45.70 and 48.80% and the maximum value of the percentage of juice is obtained in treatment 7, the acidity levels varied between 0.70 in treatment 7 and 0.80 in treatment 4, on the other hand, the sugar content is the only parameter or an increase was observed in all the treatments compared to the control, for the yield, the mass obtained is between 37.12 Kg in the treatment 7 and 44.89 in the treatment 4. Similarly, the results have shown that the effect of potassium foliar fertilization on the yield is signi However, its effect on the quality (juice content, acidity, coloring, size, weight) was not significant.

Key words: Citrus, quality, potassium, yield, foliar fertilization.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Planches illustratives de *Citrus sinensis*(oranger doux)(Köhler, 1887). 4
Figure 2:Répartition géographique des pays producteurs d'agrumes dans le monde 6
Figure 3: Proportions de la superficie agrumicole marocaine selon les régions (Web).....8
Figure 4: Évolution de la production des agrumes (1000 T) de2012 à 2018 (* : Pré-estimation) (Web).....9
Figure 5: Évolution des exportations d'agrumes (1000 T) (A), répartition des exportations par marché (B)(Web).....9
Figure 6: Fruit de l'espèce *Citrus clementina* ' Berkane'(photos personnelles).....11
Figure 7: Coupe transversale schématique d'une clémentine (*Citrus clementina*)(Milind, 2008).11
Figure 8: Croissance et développement de l'orange 'Valencia' au cours du temps, d'après Bain(1958).....12
Figure 9: Fruit de l'espèce *Citrus clementina*' Nour'(A).Fruit de l'espèce *Citrus clementina*'AînTaoujdat'(B) (Web).....14
Figure 10: Fruit de l'espèce *Citrus clementina*'SidiAissa'(A), Fruit de l'espèce *Citrus clementina*'Nules'(B) (Web).....14
Figure 11:Site de l'essai au Domaine Agricole Trifa (Ahfir)(A). Parcelle d'essai au Domaine Trifa (clémentinier 'Berkane')(B).....29
Figure 12: calibre du fruit préconisé pour les premières applications foliaires. 31
Figure 13: Échantillons de clémentines récoltés et mis dans des sachets en plastique.....31
Figure 14 : Prélèvement d'échantillon du sol (A), Echantillon composite du sol(B) 32
Figure 15: Echantillons de feuilles prélevés pour analyses minérales 34
Figure 16: Méthode de mesure de la coloration par le colorimètre (A), le résultat obtenu sur l'écran de l'appareil (B). 35
Figure 17: (A) : Mesure du poids d'un fruit à l'aide d'une balance électrique, (B) : Mesure le calibre de fruit à l'aide d'un pied à coulisse (photos personnelles).....35
Figure 18: Mesure du poids de 10 fruits avec une balance électrique (A), les fruits coupés en deux dans le sens de largeur (A), extraction de jus en utilisons un extracteur à toupie tournante (B), mesure de poids du jus extraie avec une balance électrique (C) (photos personnelles). 36
Figure 19: Détermination de la teneur en sucre ou Brix par réfractomètre.....37
Figure 20: La méthode de titrage de l'acidité(A), virage de la couleur du jaune au rosâtre(B) (photos personnelles).....38

Figure 21: Variation de l'indice de coloration de fruit du Clémentinier Berkane en fonction des différents traitements (Tr 7= Témoin). (Les histogrammes portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différents selon l'analyse de la variance à un seul facteur ($p < 0,05$)). 41
Figure 22 : Variation de calibre de fruit du Clémentinier Berkane en fonction des différents traitements (Tr 7= Témoin). 42
Figure 23:Variation de poids de fruit du Clémentinier Berkane en fonction des différents traitements (Tr 7= Témoin) 43
Figure 24: Variation de la teneur en jus de fruits du Clémentinier Berkane en fonction des différents traitements (Tr 7= Témoin). 44
Figure 25: Variation de la teneur en sucre de fruits du Clémentinier Berkane en fonction des différents traitements (Tr 7= Témoin). 45
Figure 26: Variation de l'acidité de fruit du Clémentinier Berkane en fonction des différents traitements des différents traitements (Tr 7= Témoin). 45
Figure 27: Variation de coefficient de maturité de fruits du Clémentinier Berkane en fonction des différents traitements (Tr 7= Témoin). 46
Figure 28 : Variation du rendement moyen du Clémentinier Berkane en fonction des différents traitements (Tr 7= Témoin). 48

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Répartition de la superficie des agrumes selon les régions au Maroc 7
Tableau 2 : Types d'engrais et définition 17
Tableau 3: Normes minimales de la qualité des fruits de la Clémentiniers, fixées par L'EACCE Source : Décision du Directeur Général de l'EACCE relative au contrôle technique à l'exportation des agrumes 25
Tableau 4: Résultats des analyses du sol de la parcelle d'essai 32
Tableau 5 : Les normes standard des teneurs du sol en P_2O_5 et K_2O, pour une profondeur de 30 cm (Obreza et *al*., 2008). 33
Tableau 6 : les normes standards des analyse foliaire des arbres d'agrumes (Obreza et *al*,2008) 33

Table des matières

Partie I : Revue bibliographique 2

1 Aperçu général sur les agrumes 3

1.1 Origine et distribution géographique 3

1.2 Systématique 3

1.3 Caractéristiques des agrumes 4

1.4 Ecologie et phénologie des agrumes 5

1.4.1 Ecologie 5

1.4.2 Phénologie 5

1.5 Production d'agrumes dans le monde 6

1.6 Situation du secteur agrumicole à l'échelle nationale 7

1.6.1 Importance économique et sociale du secteur 7

1.6.2 Répartition de la superficie des agrumes 7

1.6.3 Production 8

1.6.4 Destination de la production 9

1.7 Contraintes de la production des agrumes 10

2 La Clémentine 10

2.1 Généralité sur la clémentine 10

2.2 Description morphologique de la clémentine 11

2.3 Composition chimique de la clémentine 12

2.4 Etapes de croissance et développement du fruit 12

2.4.1 Phase de division cellulaire 13

2.4.2 Phase de différenciation cellulaire 13

2.4.3 Phase de maturation 13

2.5 Les variétés de clémentine produites au Maroc 13

2.6 Superficie, production et exportation du Maroc 15

2.6.1 Superficie 15

2.6.2 Production 15

2.6.3 Exportation 15

3 Généralité sur les engrais 16

3.1 Définition des substances nutritives **16**

3.2 Définitions des engrais **16**

3.3 Types des engrais **17**

3.4 Importance des engrais **17**

3.5 La Fertilisation **18**

3.5.1 Principes et objectifs 18

3.5.2 Stratégies de fa fertilisation 18

3.5.3 La fertilisation foliaire 18

3.5.3.1 Principe 18

3.5.3.2 Avantage 19

3.5.3.3 Inconvénients 19

3.5.3.4 Les règles de la fertilisation foliaire 19

3.5.4 Les éléments fertilisants NPK dans la plante et dans le sol 20

3.5.4.1 L'Azote dans le sol et dans la plante 20

3.5.4.2 Le phosphore dans le sol et dans la plante 20

3.5.4.3 Le potassium dans le sol et dans la plante 21

4 Etude de la qualité du fruit* *23

4.1 La qualité externe **23**

4.1.1 Ecorce 23

4.1.2 Coloration du fruit 24

4.1.3 Calibre et forme 24

4.2 La qualité interne **25**

4.2.1 Teneur en jus 25

4.2.2 Nombre de pépins 26

4.2.3 Nombre de quartiers (loges) 26

4.2.4 Teneur en sucre 26

4.2.5 Acidité d'un fruit et rapport sucre/acide 27

5 Matériel et méthodes* *29

5.1 Présentation de la région d'étude **29**

5.1.1 Situation géographique et climat 29

5.1.2 Parcelle d'étude 29

5.2 Protocole expérimental **30**

5.2.1 Principe 30

5.2.2 Dispositif expérimental 30
5.2.3 Condition des traitements 30
5.3 Matériel végétal 31
5.4 Analyse du sol 32
5.5 Analyses des feuilles 33
5.6 Analyses de la qualité du fruit 34
5.6.1 Qualité externe 34
5.6.1.1 Détermination d'indice de coloration 34
5.6.1.2 Mesure de calibre et poids 35
5.6.2 Qualité interne 36
5.6.2.1 Détermination de la teneur des fruits en jus 36
5.6.2.2 Teneur en sucre ou l'extrait sec soluble (ESS) 37
5.6.2.5 Coefficient de maturité 38
5.6.3 Le rendement ou poids en Kg par arbre 39
Partie III : Résultats et Discussion 40
6 Effet des applications foliaires potassiques sur les paramètres de production et de qualité des fruits du clémentinier 'Berkane' 41
6.1 Effet sur la qualité du fruit 41
6.1.1 Coloration 41
6.1.2 Calibre et poids 41
6.1.3 Teneur en jus 43
6.1.4 Teneur en sucre 44
6.1.5 Acidité 45
6.1.6 Coefficient de maturité**EA** 46
6.2 Effet sur le rendement 47
Conclusion 49
Références bibliographiques 50

À l'heure actuelle la sécurité alimentaire demeure une préoccupation sérieuse pour tous les pays du monde surtout ceux qui ne possèdent pas de ressources naturelles (surfaces réduites, insuffisance en bonne terre). Leur permettant d'atteindre un bon niveau d'autosuffisance compte tenu de l'essor démographique.

L'estimation de la FAO indique que la croissance de la production alimentaire est liée pour un tiers au développement des surfaces cultivées, et pour deux tiers à l'augmentation des rendements culturaux (Richard, 1990).

L'agrumiculture marocaine a pu créer une place honorable au niveau international par sa production annuelle moyenne qui dépasse un million de tonnes dont environ 50% exportée vers des pays occidentaux et orientaux. Cependant, cette place n'est pas toujours sécurisée et protégée, puisque le marché international est dominé aussi bien par le Maroc que par des concurrents tels que l'Espagne et l'Egypte, surtout avec l'adoption d'une politique protectionniste par les pays communautaires d'une part et la sévérité accroissant des exigences imposées sur l'exportation des agrumes d'autre part. Le Maroc se trouve donc, contraint de se boumer efficacement pour protéger et améliorer éventuellement son positionnement dans le marché international. Ceci ne peut être possible qu'en améliorant la qualité et le rendement de ses produits.

La présente étude dont le thème est « Effet de la fertilisation foliaire potassium sur la production et la qualité des fruits de clémentine 'Berkane'» vise à améliorer les rendements et la qualité de clémentine 'Berkane', variété destinée essentiellement à l'exportation.

La première partie de ce mémoire, traite des généralités sur les agrumes, les engrais, la fertilisation foliaire et sur la qualité des fruits, tout en évoquant les effets de la nutrition potassique dans la plante. La deuxième partie, aborde la méthodologie de l'expérimentation, et présente les résultats avant la conclusion générale et les perspectives de ce travail.

Partie I : Revue bibliographique

1. Aperçu général sur les agrumes

1.1 Origine et distribution géographique

Les agrumes sont originaires du Sud-Est asiatique (De Rocca Serra &Ollitrault, 1992). Cependant, les données historiques plaident en faveur de l'existence de trois centres de diversification primaire (Webber, 1967 ; Scora, 1988). Le Nord-Est de l'Inde, les régions proches de la Birmanie et de la Chine, auraient abrité la diversification de *Citrus medica*et l'apparition de *C. aurantifolia*, *C. limon*, *C. aurantium*et*C. sinensis*.La Malaisie et l'Indonésie sont citées comme centre d'origine de *C.grandis*.Le Vietnam, le Sud de la Chine et le Japon seraient la zone de diversification de *C. reticulata* (Anonyme, 1998).

La diffusion des agrumes à travers le monde s'est faite très lentement. Le cédratier a été le premier connu en Europe (300 ans av. J.C. d'après Webber, 1967). Le bigaradier, le citronnier et l'oranger ont été introduits dans le bassin méditerranéen vers la moitié du XIIe siècle, et le mandarinier au XIXe siècle. Le bassin méditerranéen constitue à présent une importante zone de production pour ces trois dernières espèces (Spiegel-Roy et Goldschmidt, 1996).

1.2 Systématique

Les Agrumes appartiennent aux genres *Citrus*, *Fortunella*et *Poncirus*. Ces trois genres sont de la famille des «Rutaceae».Cette famille comprend environ 160 genres et 1900 espèces de plantes (Groppoet*al.,* 2008). La classification des agrumes est selon Adjdir et Bensnouci(2009) comme suite :

- Règne : Végétal
- Embranchement : Angiospermes
- Classe : Eudicotes
- Sous classe : Archichlomydeae
- Ordre : Geniales (Rutales)
- Famille : Rutaceae
- Sous famille : Aurantoideae
- Tribu : Citreae
- Sous tribu : Citrineae
- Genre : *Citrus*

PRALORAN (1971) souligne que la classification systématique des agrumes et des genres voisins est un problème que les spécialistes s’accordent à qualifier de complexe. Des divergences se manifestent entre les opinions de Swingle, Tanaka, Hume, Hodgson et Chapot en matière.

1.3 Caractéristiques des agrumes

Les agrumes sont des fruits non-climactériques qui doivent être récoltés à maturité. Ils sont relativement résistants au transport et à la conservation.« Agrume » vient du mot latin *acrumen*, qui désigne un arbre à fruits de saveur acide (Couplan, 2012).

Figure 1 : Planches illustratives de *Citrus sinensis*(oranger doux)(Köhler, 1887).

Les agrumes sont des arbres ou arbustes allant de trois à quinze mètres de haut (Chegrani-Conan, 2009). Leurs feuilles sont luisantes, simples ou trifoliées, persistantes et présentent généralement un pétiole ailé (figure 1). Les branches sont souvent munies d'épines plus ou moins grandes. Les fleurs sont hermaphrodites et possèdent généralement cinq pétales blancs (parfois teintés de rose) et 20 à 40 étamines entourant l'ovaire fixé sur un disque nectarifère (Praloran, 1971). Pour ce qui est des fruits, ils sont formés de segments contenant les graines placées dans l'angle intérieur, le reste de l'espace est rempli de poils vésiculaires pédonculés, fusiformes, composés de grosses cellules à contenu très aqueux. Les segments sont entourés d'un endocarpe blanc à l'extérieur duquel est une écorce à très nombreuses glandes à essence, devenant jaune ou rouge à la maturité. Enfin pour ce qui est des graines, elles sont ovales aplaties, plus ou moins anguleuses. Elles contiennent un ou plusieurs embryons blanc ou vert (Swingle, 1948).

1.4 Ecologie et phénologie des agrumes

1.4.1 Ecologie

Les agrumes présentent une grande capacité d'adaptation à des conditions pédoclimatiques très différentes. Leur culture est possible partout où la température moyenne de l'année est supérieure à 13°C et inférieure à 39°C. Les agrumes préfèrent les climats maritimes des zones subtropicales. En termes de besoins en eau, 120 mm par mois, soit 1200 à 1500 mm par an, représentent une quantité d'eau au-dessous de laquelle la culture des agrumes nécessite une irrigation (Anonyme, 2006).

La lumière a une action très remarquée sur la qualité et la coloration des fruits. Les arbres fruitiers sont plus exigeants sur les caractéristiques physiques du sol et non sur les caractéristiques chimiques qui peuvent être corrigées par des apports d'engrais et d'amendements. Les sols doivent être profonds et de préférence légers (sablo-argileux ou argilo-sableux), bien drainés. Les agrumes redoutent les eaux salines (au-dessus de 0,5%). Le PH idéal est situé entre 5,5 et 7,5(WalaliL oudyi*etal.*, 2003 ; Van Ee, 2005). C'est à cet effet que le choix du porte-greffe est un des facteurs essentiels de réussite, car il peut conférer à la plante une tolérance à des maladies et à des contraintes abiotiques (salinité, PH, froid, sécheresse, calcaire…). L'optimum d'altitude pour un bon développement des agrumes se situe entre 1000 et 1300 m, car ces derniers ne doivent pas être trop exposés aux vents. Au-dessous de 800 m, les fruits manquent de saveur. La peau des oranges reste verte, les cloisons deviennent plus épaisses (Loussert, 1989).

1.4.2 Phénologie

Le développement de la frondaison des agrumes se fait sous forme de flux végétatif ou poussée foliaire (flush). Ces flux végétatifs succèdent à des périodes d'arrêt végétatif. Ce phénomène s'observe même en climat tropical humide où les conditions permettent une activité végétative continue (Praloran, 1971). Il existe généralement 3 flux végétatifs par an. Ils commencent avec le début des pluies. Le premier flux, qui est de loin le plus important (longueur et nombre de rameaux émis), débute en mars avec le retour des pluies. Le second se fait au mois d'août, il est également déclenché par le retour des pluies. Le dernier survient en octobre.

La floraison se produit en même temps que la pousse qui suit le repos végétatif. Les fleurs sont isolées ou en grappes et se forment sur le bois de l'année précèdent (Praloran, 1971 ;Meninoet *al.*, 2003). La floraison est continue tout au long de l'année sur les citronniers et limettiers. Sur les autres espèces, on peut avoir une ou 2 périodes de floraisons par an. Sur un même arbre, on peut ainsi retrouver des feuilles, des fleurs et des fruits de différents âges (Van Ee, 2005).

1.5 Production d'agrumes dans le monde

Aujourd'hui, les agrumes sont cultivés entre les latitudes correspondantes au 40ème parallèle nord et au 40ème parallèle sud. Cette zone comprend des régions à climats tropicaux et subtropicaux chauds et pouvant être secs ou humides (figure 2). On l'appelle la ceinture des agrumes (Chegrani-Conan, 2009).

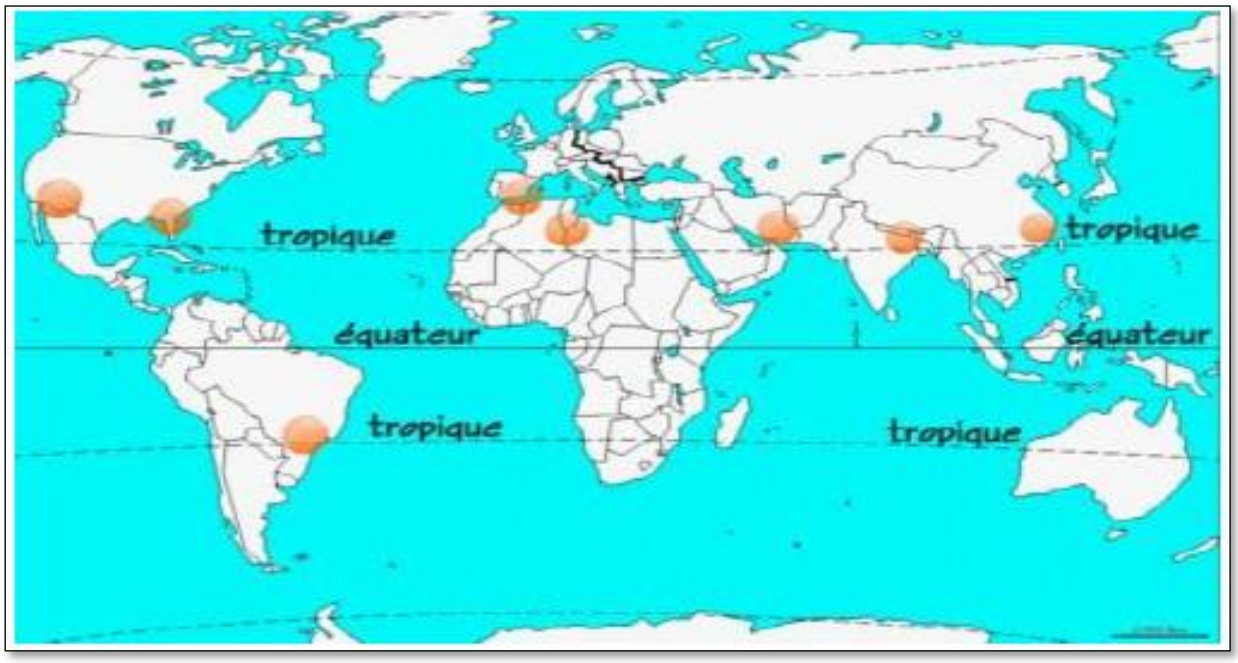


Figure 2:Répartition géographique des pays producteurs d'agrumes dans le monde

Selon les données du Département Américain de l'Agriculture (USDA), la production mondiale d'agrumes, toutes espèces confondues, s'élève à plus de 90 millions pour la campagne 2016/2017, sur une superficie de 7,5 millions d'hectares environ. Les oranges représentent environ 60 % de la production totale d'agrumes. Les tangerines, mandarines, clémentines et satsumas comptent pour 23 % du volume mondial. Environ 13,7 millions de tonnes de citrons et de limes, ainsi que 4,4 millions de tonnes de pamplemousses et pomelos sont produites annuellement.

La Chine est le premier producteur d'agrumes dans le monde avec une part de 34% et un volume de 29,5 millions de tonnes, elle est suivie par le Brésil avec une part de 22%. L'UE arrive au 3ème rang suivi par le Mexique (6,7 millions de tonnes) et les États-Unis (4,6 millions de tonnes). Le Maroc occupe le septième rang, suivi par la Turquie avec une part de 1,6%.

1.6 Situation du secteur agrumicole à l'échelle nationale

1.6.1 Importance économique et sociale du secteur

Le Maroc est un pays à vocation agricole, dont le secteur agrumicole est parmi les principaux secteurs de l'économie nationale. Ce secteur, avec les diverses activités qu'il engendre, à savoir la production, le conditionnement, le transport et la transformation, crée des opportunités d'emploi très importantes évaluées à 21 millions journées de travail et représente une source de devises considérable de l'ordre de 3 milliards de dirhams par an (MAPM, 2013).

1.6.2 Répartition de la superficie des agrumes

Le tableau 1 et la figure 3 renseignent sur la répartition superficielle de la culture des agrumes au Maroc qui couvre environ 127000 Ha, tel que ces deux figures montrent que la région Souss occupe la plus grande surface productive (près de 32%) suivie de la région El Gharb auxquelles s'ajoutent respectivement l'Oriental, Tadla, Haouz et finalement le Loukkous. Le reste de la superficie soit 4% étant réparti sur d'autres régions moins connues par l'agrumiculture.

Le profil variétal du verger agrumicole national est composé d'une gamme diversifiée de variétés, mais qui reste dominé par 3 groupes de variétés, à savoir, le groupe des Clémentines avec 35%, la Maroc Late avec 21% et les Navels avec 18% (Web).

Tableau 1: Répartition de la superficie des agrumes selon les régions au Maroc

Régions	Superficie (Ha)
Souss Massa	40 376
Gharb	25 101
Oriental	19 946
Tadla	17 082
Haouz	17 413
Loukkos	1 929
Autres régions	4 753
Total	126 600

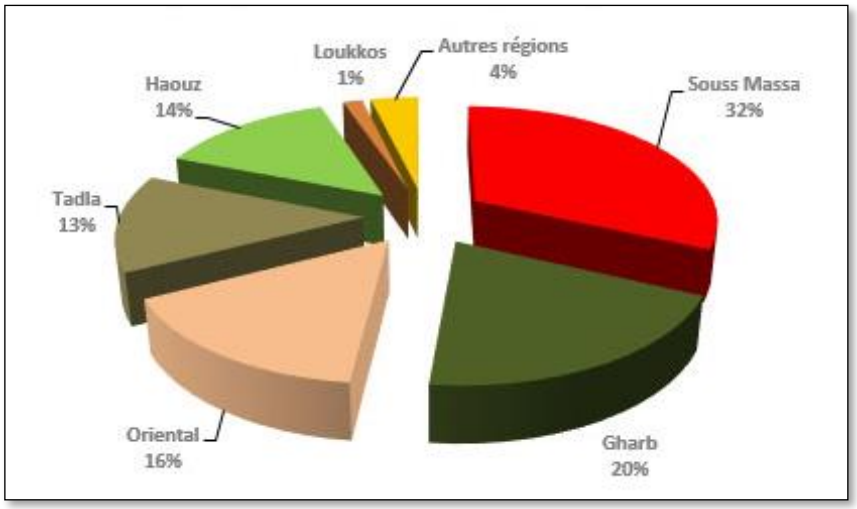


Figure 3: Proportions de la superficie agrumicole marocaine selon les régions (Web).

1.6.3 Production

La production moyenne d'agrumes réalisée au cours des 5 dernières campagnes a atteint près de 2 millions de tonnes dont l'écoulement concerne trois principales destinations à savoir la consommation intérieure en frais, l'exportation et la transformation.

La figure 4 traduit l'évolution de la production des agrumes entre 2012 et 2018. Elle montre une certaine oscillation de la production. C'est la production de la campagne 2004/2005 qui est la maximale si on exclut la production de la campagne 2017/2018 puisqu'elle reste encore une pré-estimation, alors que la production la plus basse caractérise la campagne 2012/2013, cette production faible de cette campagne a été due à la sécheresse qu'a connu le Maroc pendant cette année. Au cours des dix dernières années, le secteur des agrumes s'est nettement développé avec l'introduction de nouvelles variétés de petits fruits, dont notamment la Nour, la Nadorcott et la Nules (Web).

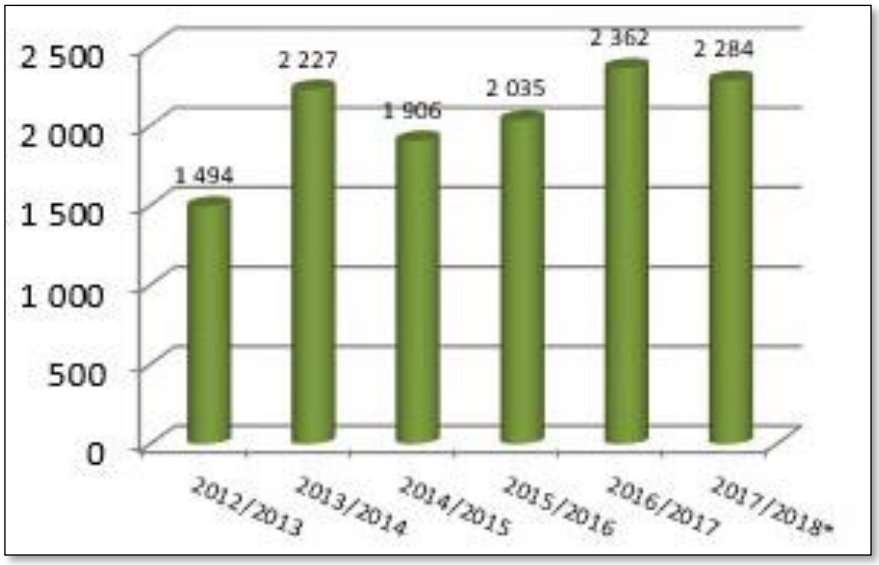


Figure 4: Évolution de la production des agrumes (1000 T) de2012 à 2018 (* : Pré-estimation) (Web).

1.6.4 Destination de la production

Le Maroc est l'un des principaux exportateurs des agrumes frais à l'échelle internationale. Les exportations d'agrumes sont destinées principalement aux marchés de la Russie et de l'Union Européenne qui absorbent près de 80 % des quantités exportées. Le reste des marchés est représenté en grande partie par les pays de l'Amérique du Nord (Canada et USA) et les Pays du Golfe (Figure5-B)**.** D'après la figure 5-A on constate une évolution croissante des exportations d'agrumes à partir de l'année 2015 avec une exportation allant de 461000 tonnes (2015) à 657000 Tonnes en 2017(Web).

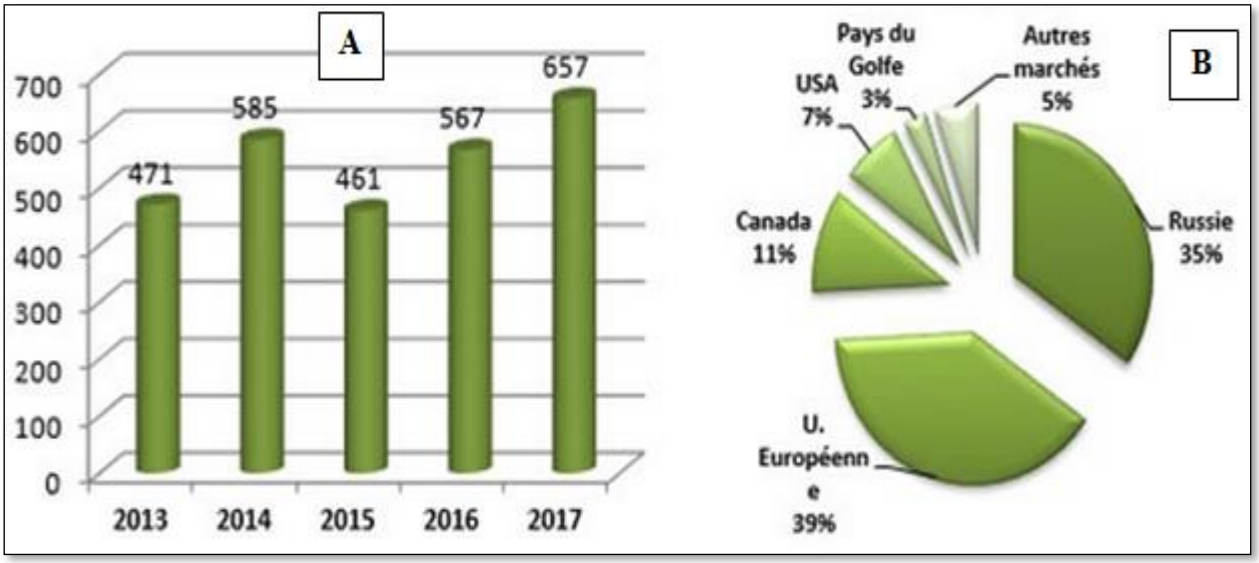


Figure 5: Évolution des exportations d'agrumes (1000 T) (A), répartition des exportations par marché (B)(Web).

1.7 Contraintes de la production des agrumes

Les agrumes sont sensibles aux stress abiotiques tels que les vents chauds et secs, le gel, les trop fortes quantités d'eau ou au contraire le manque d'eau (Chegrani-Conan, 2009). Pour prévenir ces agressions, il est nécessaire d'installer des haies brise-vent, un système de drainage (Jacquemond et *al.*, 2013), voire un système d'arrosage lors de la mise en place du verger. Par ailleurs, les agrumes sont aussi soumis à des stress biotiques tels que les bactéries, les virus (tristeza), les champignons, les cochenilles, les pucerons, les teignes, les mouches méditerranéennes des fruits (cératite), les aleurodes (mouches blanches), les mineuses des agrumes, les acariens ou encore les nématodes (Chegrani-Conan, 2009 ; Jacquemond et *al.*, 2013). Il existe différents moyens de lutte contre ces agressions (Jacquemond et *al.*, 2013) **:**L'utilisation de produits chimiques, par exemple l'huile blanche pour les cochenilles ou les aleurodes ;la lutte biologique comme les lâchés de coccinelles pour les pucerons ou les lâchés de cératites stériles pour entrer en compétition avec les cératites sauvages lors de la reproduction; l'utilisation de plants du genre *Poncirus* en tant que porte-greffe, ce qui confère aux agrumes une résistance à certains parasites par exemple les nématodes, le virus de la tristeza et les champignons du genre *Phytophtora* (à l'origine de la gommose).

2. La Clémentine

2.1 Généralité sur la clémentine

Selon (Brebion et *al.,* 1999) : la clémentine (*Citrus clémentina*) est un agrume, appartient à la famille des rutacées. Elle est apparue à la fin du 21ème siècle, c'est le Révérend Père Clément qui la découvrit au milieu des mandariniers d'un orphelinat de Misreghin en Algérie vers 1902, dont il était directeur de culture (Vincent, 1829 ; Rodier, 1904).

Le Clémentinier est issu d'un croisement entre un mandarinier de type 'Willowleaf' et un oranger (Deng et *al.,* 1996).C'est donc un hybride asperme, ce qui explique la rareté de ses pépins. C'est un arbuste au feuillage persistant, bien ramifié, pouvant atteindre jusqu'à 6 m de hauteur. La clémentine est un fruit très consommé. Elle est caractérisée par sa précocité et ses qualités gustatives très appréciées par le consommateur. Sa peau est brillante, de couleur orange à rougeâtre, finement granulée, ayant une épaisseur qui varie selon les clones de 2,5 à 4,5 mm (Figure 2). La pulpe est juteuse, tendre et parfumée. Les fruits sont d'un poids moyen de 60g (Loussert, 1987). La clémentine est principalement cultivée en Algérie, au Maroc, en Tunisie, en Espagne et en France. Les premiers fruits sont récoltés dès le mois d'octobre et jusqu'à fin janvier dans l'hémisphère nord (Perrot É et *al.,* 1944).

Figure 6: Fruit de l'espèce *Citrus clementina* ' Berkane' (photos personnelles)

2.2 Description morphologique de la clémentine

Tous les fruits des Citrus présentent la même structure anatomique (Ramful et *al.,* 2010), ils sont des fruits charnus de type baie composée de deux parties : la peau également appelée péricarpe et la pulpe appelée aussi endocarpe (Figure 7).

Le péricarpe est divisé en deux parties, l'épicarpe et le mésocarpe.

-L'épicarpe, riche en glandes à huiles essentielles, et le mésocarpe externe forment le « flavedo »

-L'albédo correspond au mésocarpe interne qui est plus blanc et dont l'épaisseur varie en fonction des espèces. C'est la couche intérieure blanchâtre, spongieuse, plus ou moins épaisse, elle peut constituer 12 à 30% du fruit. Elle est associée au flavédo formant l'écorce d'orange. Elle est composée de vitamines A, B, C (Bruneton, 1999 ; Hilan, 2011).

L'endocarpe ou « pulpe » est issu d'un seul ovaire constitué de plusieurs carpelles soudés. Ces différentes cavités forment les segments ou « quartiers » dont le nombre varie entre 5 et 18. Les quartiers sont entourés d'une membrane formée à partir de l'épiderme interne des carpelles. Les sacs à jus sont implantés autour d'un axe central et leurs vacuoles se remplissent de jus au cours du développement du fruit.

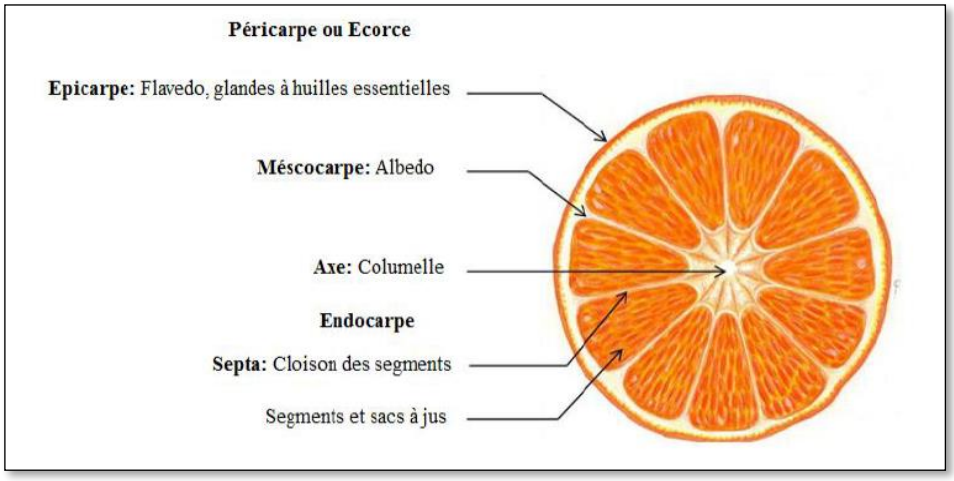


Figure 7: Coupe transversale schématique d'une clémentine (*Citrus clementina*) (Milind, 2008).

2.3 Composition chimique de la clémentine

La composition chimique de la clémentine se rapproche de celle des autres fruits "Citrus", tout en présentant quelques particularités originales. Elle offre une quantité importante de vitamine C, mais est également source de vitamines du groupe B et de provitamine A. Elle est riche en eau (plus de 85%), moyennement énergétique, elle est également source de minéraux et d'oligo-éléments : calcium, potassium, phosphore, magnésium, fer et cuivre.

Enfin, elle renferme différents types de composés antioxydants : flavonoïdes et caroténoïdes (bêta-cryptoxanthine, zéaxanthine, lutéine, bêta et alpha-carotène). L'effet thérapeutique de ces aliments revient à leurs constituants très bénéfiques pour la santé.
(Luroet *al.,* 2013).

2.4 Etapes de croissance et développement du fruit

Un fruit d'agrumes mûr est le produit final d'un ensemble d'événements qui commencent par la formation des structures reproductives : bourgeons, fleurs, petits fruits et finit par la formation des fruits mûrs. Ces événements s'étalent sur une période allant de six à douze mois en fonction du climat (Sinha et *al.,* 2012). D'après la figure 8 en constate que la croissance des agrumes comporte trois phases de développement : une phase de division cellulaire qui correspond au stade I, la différenciation et croissance cellulaire au stade II et une phase de maturation au stade III(Bain, 1958 ; Spiegel-Roy et Goldschmidt, 1996 ; Iglesias et *al.,* 2007).

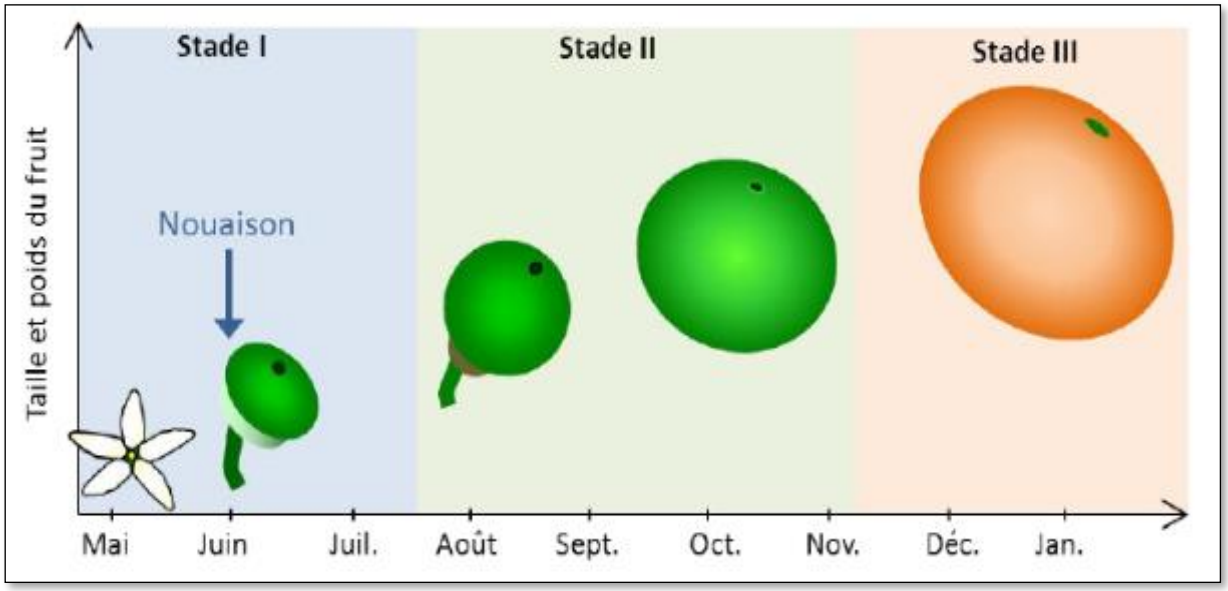


Figure 8: Croissance et développement de l'orange 'Valencia' au cours du temps.
D'après Bain (1958).

2.4.1 Phase de division cellulaire

La phase de division cellulaire (stade I) se caractérise par une lente croissance du volume du fruit et par une division cellulaire très intense. Cette division cellulaire se produit seulement au niveau des couches supérieures du flavédo et dans les vésicules à jus (Wardowski et *al.*, 1986 ; Spiegel-Roy et Goldschmidt, 1996). A la fin de cette période, l'épaisseur de la peau du fruit atteint son maximum. A ce stade l'albédo représente 60 à 90% du volume du fruit (Spiegel-Roy et Goldschmidt, 1996). Cette première phase dure environ huit semaines (Agusti, 2003).

2.4.2 Phase de différenciation cellulaire

La deuxième phase du développement du fruit (stade II) est marquée par une croissance rapide due à l'élargissement cellulaire. Les cellules des segments de la pulpe s'élargissent. Le flavédo du fruit devient plus épais et l'albédo se transforme en un tissu spongieux. Ce tissu spongieux se développe également au niveau de l'axe central du fruit. À ce stade, l'augmentation du volume du fruit est due essentiellement à la croissance des segments de la pulpe (Wardowski et *al.*, 1986 ; Spiegel-Roy et Goldschmidt, 1996). À ces changements morphologiques s'ajoutent des changements biochimiques. On assiste à une accumulation importante des sucres solubles et des acides organiques. Au milieu de cette phase, l'acidité atteint une concentration maximale. Puis, une fois le maximum atteint, l'acidité commence à diminuer (Iglesias et *al.*, 2007). La phase de différenciation cellulaire dure trois à six mois (Sinha et *al.*, 2012).

2.4.3 Phase de maturation

Pendant cette dernière phase (stade III), les changements biochimiques continuent, mais de manière moins importante que dans la phase précédente (Sinha et *al.*, 2012). Dans le bassin méditerranéen et d'autres zones de culture, la phase de maturation se manifeste entre autres par la dégradation de la chlorophylle du péricarpe et la synthèse des caroténoïdes. Le fruit vire vers sa couleur variétale typique (Figure 8) (Prinsloo, 2007 ; Sinha et *al.*, 2012).

2.5 Les variétés de clémentine produites au Maroc

Plus de 47 variétés de mandarines et clémentine sont cultivées au Maroc. Cette dernière représente plus de la moitié de la production nationale. Parmi les Clones de clémentine produite au Maroc :

- Clones de saison

Le clémentinier ordinaire ou commun cultivé au Maroc regroupe un ou plusieurs types produisant des fruits sans pépins en l'absence de variétés pollinisatrices. Parmi ces variétés, clémentine de Berkane : Nules, Cadoux, Sidi Aissa, Ain Taoujdate, Monréal, Larache.

- Clones précoces :

Trois clones précoces, Carte Noire, Caffin et Gegore Pourreyon (G.P), identifiés localement et un quatrième, Marisol introduit d'Espagne ont été multiplies à une échelle commerciale limitée mais n'ont pas connu le succès escompté.

- Clones tardifs

Trois sélections de clémentinier à maturité tardive ont été représenté au Maroc, Nour, Tardive de Mars et Tardive de Janvier. Parmi celles-ci, seul Noura connu un succès notables grâce à sa tardivité et à la qualité de ses fruite (Nadori E.B. et Nhami A., 2005)

- Autres variétés à petits fruits

De nombreuses variété de mandarine et divers hybrides ont été introduites et mis en collections. Parmi ces variétés : Nadorcott, Nova, Wilking, Ortanique, Fortune.

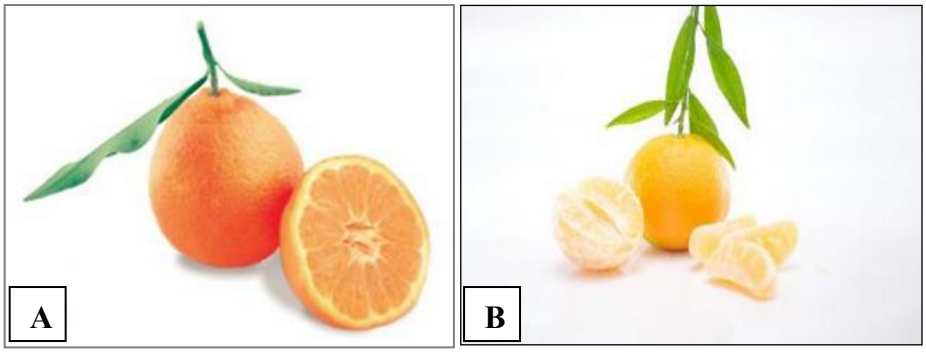


Figure 9: Fruit de l'espèce *Citrus clementina*' Nour'(**A**). Fruit de l'espèce *Citrus clementina*'AînTaoujdat'(**B**) (Web).

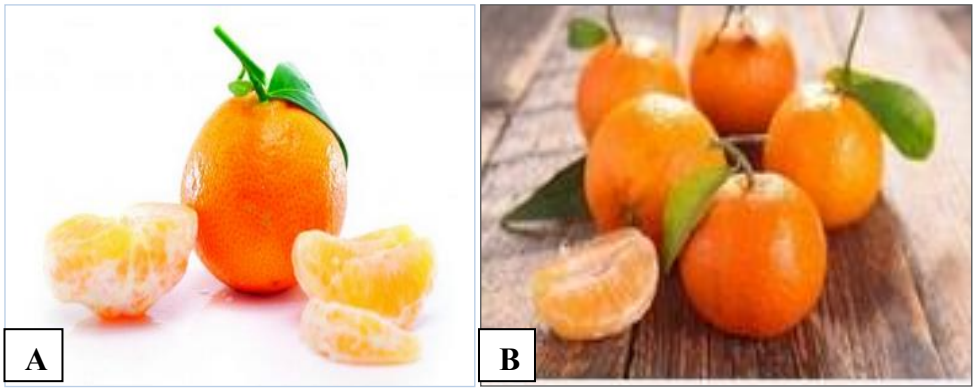


Figure 10: Fruit de l'espèce *Citrus clementina* 'SidiAissa'(A), Fruit de l'espèce *Citrus clementina* 'Nules'(B) (Web).

2.6 Superficie, production et exportation du Maroc

2.6.1 Superficie

Le Clémentinier a connu un grand succès au Maroc dès le début des années 1930. En 1952, sa culture couvrait déjà 3,200 ha, soit 10,44% de la superficie totale du verger agrumicole. Pendant la période 1952-1962, un ralentissement des plantations de clémentiniers et même des sur greffages par des variétés d'orange ont eu lieu à cause de l'alternance et de la faiblesse des rendements (Merle et Nadori, 1978). Par la suite, les plantations du clémentinier sans pépins ont continué à s'étendre pour atteindre, au début des années 1980, 25.000 ha soit 36% de la superficie totale d'agrumes. Tout au long de cette période, les vergers de clémentiniers avec pépins. Du clone Monréal notamment, ont régressé en passant de près de 2.200 ha en 1968 à moins de 700 ha en 1980 (Nadori, 1983). Au cours de la décennie 1980-90, on a noté, à nouveau, une régression de la superficie cultivée en clémentinier. Les causes en sont essentiellement la diminution de la rentabilité du Clémentinier en année de pléthore, comme en 1988-89. Après une stabilisation autour de 19.000 ha durant la décade 1990-2000, la superficie du Clémentinier a légèrement augmenté. Elle représente actuellement 35% de verger agrumicole soit 45.799 ha.

2.6.2 Production

La production marocaine de Clémentine en 1956-57, se situait à environ 21.000 Tonnes et représentait 7% de la production nationale d'agrumes estimée à 300.000 T (Anonyme, 1954). Vingt ans plus tard, grâce à l'augmentation des surfaces et des rendements, elle atteint 200.000 tonnes, en 1976-77. Pendant les vingt années suivantes, la production a continué d'augmenter pour culminer à 420.000 T en 1988-89 (Anonyme, 2000). Par la suite, elle a fluctué entre 220.000 et 360.000 T par campagne avec un minimum absolu de 174.500 T en 2000- 2001 (Anonyme, 2002). En moyenne, la clémentine a représenté pendant les vingt dernières années 24 à 35 % de la production totale d'agrumes. La production nationale pour la compagne 2018/2019 atteint Tonnes dont 167.600 T produite au niveau du Berkane (Kharroubi, 2018).

2.6.3 Exportation

La clémentine a, très vite, pris une part importante dans les exportations marocaines d'agrumes. En effet, dès 1949-50, elle représentait, avec un volume de 10.228 tonnes, 9% des exportations des agrumes (Anonyme, 1950). Le volume exporté était de 147.000 t en 1976-77 soit près de 74% de la production totale de clémentines (Merle et Nadori, 1978).

Pendant les vingt-cinq années suivantes, malgré l'accroissement important de la production de clémentine, les exportations n'ont pas augmenté dans les mêmes proportions. Dans l'ensemble,

elles ont oscillé entre 120.000 et 192.000 t par année. Un minimum absolu de 95.400 t a été enregistré en 2000-2001.La part exportée de la production de la clémentine, a-t-elle aussi, considérablement baissé. Elle a passé de plus 70% dans les années 1970 à moins de 50% vers la fin des années 1990(Anonyme, 2000 ; Anonyme, 2002). Selon les données du Comité de Coordination des Exportations d'Agrumes (2019), l'exportation nationale pour la compagne 2018/2019 atteinte 301.900 Tonnes. Les quantités exportées de clémentine du Berkane jusqu'au 7 décembre 2017 sont de 13.585 Tonnes vers la Russie, 10.600 T. vers l'Europe, 3.443 T. vers le Canada et 312 T. vers d'autres destinations, soit un total de 27.930 Tonnes. Durant la précédente campagne 2016/2017, ces exportations étaient de l'ordre de 24.800 tonnes, soit une augmentation de 12% au cours de cette campagne (2017/2018).

3. Généralité sur les engrais

3.1 Définition des substances nutritives

D'après Bliefert et Perraud (1997) les substances nutritives sont des éléments ou des composés, que les organismes utilisent pour vivre ou se multiplier. Les substances nutritives des plantes peuvent être partagées entre les substances nutritives principales(Hydrogène (H), Carbone (C), Oxygène (O), Azote (N),Phosphore (P),Potassium (K), Soufre (S), Magnésium (Mg),Calcium (Ca)) et des substances nutritives à l'état de traces telles que :le bore (B),le chlore(Cl),le manganèse (Mn),le fer (Fe),le cuivre(Cu),le zinc(Zn),le molybdène(Mo). Ces dernières substances sont appliquées aux cultures pour améliorer les réactions présentes dans la plante. Ils sont à apporter en très faible dose (Moughli, 2000).

Lorsque l'un de ces 16 éléments essentiels manque aux plantes supérieures, des symptômes de malnutritions apparaissent. Certaines plantes ont besoin d'éléments supplémentaires, qui sont parfois comptés dans les éléments nutritifs, par exemple : le sodium (Na), le chlore (Cl), le cobalt (Co) et le silicium (Si) (Bliefert et Perraud, 1997).

3.2 Définitions des engrais

Généralement, les engrais sont des substances (le plus souvent des mélanges d'éléments minéraux), destinées à apporter aux plantes des compléments d'éléments nutritifs, de façon à améliorer leur croissance et augmenter le rendement et la qualité des cultures (Zodom, 2012).

Toute matière fertilisante organique ou minérale incorporée au sol pour en accroitre ou en maintenir la fertilité, apportant notamment aux végétaux les éléments qui leur sont directement utiles (Mazoyer, 2002).

3.3 Types des engrais

Les engrais sont généralement classés en trois grands types selon leurs proportions en éléments nutritifs qui les composent et leur nature (Tableau 2).

Tableau 2 : Types d'engrais et définition

Types d'engrais	Définitions
Engrais Minéraux ou Engrais Chimiques	Engrais d'origine minérale destinés à favoriser la croissance des plantes cultivées, produit par synthèse chimique, ou par l'exploitation de gisements naturels de phosphate et de potasse. La notion d'engrais minéral s'oppose à celle d'engrais organique, produits à base de matière organique d'origine animale ou végétale (CNABIO, 2013).
Engrais Organiques ou Engrais Biologiques	Mélange de déchets d'origine animale ou végétale qui contiennent de l'azote, du phosphore et de la potasse, mais dans des proportions parfois moins importantes que dans un engrais minéral (CNABIO, 2013).
Engrais Organo-Minéraux	Résultent du mélange d'engrais minéraux et d'engrais organiques. Ils doivent contenir au moins 1% d'azote d'origine organique (IFV, 2010).

3.4 Importance des engrais

Les engrais permettent de :

- Augmenter la production.
- Améliorer la qualité des cultures vivrières et celle des cultures de rente.
- Améliorer la fertilité des sols.
- Apportent aux plantes cultivées les éléments nutritifs dont elles ont besoin (Anonyme, 2003).

3.5 La Fertilisation

3.5.1 Principes et objectifs

La fertilisation consiste à apporter à un milieu de culture, tel que le sol, le feuillage les éléments minéraux nécessaires à l'alimentation de la plante.

Les objectifs de la fertilisation visent à obtenir le meilleur rendement possible avec la meilleure qualité et au moindre coût. En outre s'y ajoute le souci de préservation de la fertilité du sol et de la qualité de l'environnement, particulièrement en agriculture durable.

La fertilisation a pour but de conserver ou améliorer la productivité d'une terre (Schvartz et *al,* 2005).

La fertilisation constitue l'un des éléments de l'ensemble des techniques culturales retenues pour réaliser un objectif de production donnée. Elle doit être raisonnée en fonction :

- Du sol
- Du climat
- Des variétés cultivées
- Des possibilités d'alimentation en eau (Cravouille, 1987).

3.5.2 Stratégies de fa fertilisation

La stratégie de la fertilisation repose sur la prise en compte de quatre critères suivants :

- L'exigence de la plante
- L'état de richesse du sol : qui renseigne sur la réserve de P et K
- Le passé de la fertilisation : les doses de phosphore et de potassium apportées les 2 à 3 ans précédents
- La restitution ou non des résidus des précédents culturaux (Soltner, 2003).

3.5.3 La fertilisation foliaire

3.5.3.1 Principe

La fertilisation foliaire est une pratique courante consistant à fournir des nutriments aux plantes par le biais de leur feuillage. Il s'agit de pulvériser des engrais dissous dans l'eau directement sur les feuilles. La fertilisation foliaire peut fournir les nutriments nécessaires au développement normal des cultures dans les cas où l'absorption des nutriments par le système racinaire est sous-optimale.

L'alimentation foliaire avec des engrais entièrement solubles dans l'eau à des stades critiques augmente considérablement les rendements et améliore la qualité des rendements. La fertilisation foliaire peut s'avérer un excellent outil pour corriger les carences en éléments nutritifs

et fournir les éléments nutritifs indispensables pendant les phases de forte demande en éléments nutritifs dans les cultures (Kaushal et*al.*, 2014).

3.5.3.2 Avantage

La pratique de la fertilisation foliaire permet :

- Une action rapide par rapport à l'application au sol ;
- De cibler efficacement différents stades de croissance pour améliorer le rendement et la qualité des produire ;
- D'apporter la juste dose ;
- D'éviter la perte par lixiviation
- Une réduction des coûts des passage pour traitement car les engrais peuvent être mélangés avec des fongicides ou des herbicides.

3.5.3.3 Inconvénients

Les principaux inconvénients de la fertilisation foliaire sont :

- Ne remplace en aucun cas la fertilisation au sol
- Besoin d'hygrométrie lors des apports
- Effet à court terme

3.5.3.4 Les règles de la fertilisation foliaire

Les règles suivantes sont indispensables pour une bonne conduite de la fertilisation foliaire :

- Solubilité : les engrais foliaires devraient pouvoir se dissoudre ou être suspendus dans l'eau et contenir un composé chimique constituant le principe actif, sous forme de sels, de chélates ou de complexes d'éléments nutritifs minéraux.
- Poids moléculaire / taille : l'engrais foliaire doit contenir un faible poids moléculaire ou des molécules de taille inférieure afin de permettre une pénétration plus importante de la cuticule de la feuille.
- PH de la solution : le pH de la solution doit être ajusté pour une meilleure activité du nutriment et pour éviter les effets de brûlure (Kaushal et *al.*, 2014).
- Forme : Le taux d'absorption des ions ammonium dans les feuilles est plus rapide que celui des ions nitrate. L'urée a une pénétration des feuilles supérieure à celle des autres engrais azotés inorganiques. KCl est apte à être utilisé pour la fertilisation du sol, mais impropre à une application foliaire en raison de sa cristallisation rapide à la surface des feuilles (Porro et *al.,* 2006).

3.5.4 Les éléments fertilisants NPK dans la plante et dans le sol

Les agrumes demandent un équilibre NPK de 1 - 0,3 - 1,2. Dans un sol fertile, pour un rendement de 60 t/ha en fruits frais, les exportations d'éléments minéraux représentent 180 kg N/ha, 55 kg P_2O_5/ha et 220 kg K_2O/ha. Les choix seront largement guidés par l'analyse de sol complétée ensuite par le diagnostic foliaire.

3.5.4.1 L'Azote dans le sol et dans la plante

- **Dans le sol**

La principale source d'azote est l'atmosphère où on le rencontre sous sa forme diatomique (N2). La fixation biologique, symbiotique ou non, est à l'origine de l'enrichissement du sol en produits organiques azotés. La majorité de l'azote du sol est formée d'azote organique qui ne sera disponible pour les plantes que par minéralisation, processus lié étroitement avec l'activité des microorganismes. Seule une petite fraction se trouve sous des formes inorganiques et est directement disponible pour les plantes. Ainsi, la matière organique constitue la principale réserve d'azote du sol (Henintsoa*,* 2013).

- **Dans la plante**

Chez les agrumes l'azote exerce une plus grande influence sur la croissance et le rendement que tout autre élément nutritif. La phase de développement des fruits nécessite un apport maximal quotidien de 2 kg/ha d'Azote. L'Azote et le Calcium sont normalement appliqués à parts plus ou moins égales 3 à 5 fois pendant la saison de croissance. En revanche une carence d'azote se traduit par une décoloration du limbe sous forme de panachure vert jaunâtre, sans déformation de la feuille. En cas de carence sévère, la feuille peut devenir complètement jaune et on peut avoir chute de celle-ci. Les arbres carencés présentent une réduction de leur activité (Anonyme 2017).

3.5.4.2 Le phosphore dans le sol et dans la plante

- **Dans le sol**

Le phosphore dans le sol se trouve sous trois formes :

-Phosphore soluble : L'absorption du phosphore par la plante se fait sous la forme du phosphore soluble dans la solution du sol, sa concentration est très faible est presque constante du fait des échanges continuels avec le phosphore adsorbé (Diehl, 1975).

-Phosphore facilement échangeable : Elle est constituée par l'ensemble des ions adsorbés sur les argiles du sol, elle participe aux échanges constants sol↔solution et constitue l'essentiel du pool alimentaire, c'est la forme la plus intéressante elle représente une assez faible part du phosphore

total = 15 à 30% (Gachon, 1969). Cette fixation par les argiles peut être faite, soit directement sur la surface des argiles, ou soit par l'intermédiaire d'un cation (Zekkour, 2007).

-Phosphore insoluble : Les formes dite « insoluble » ne font néanmoins pas partie des réserves inassimilables de phosphore existant dans le sol. Des modifications de pH, l'action de la matière organique, l'activité microbienne, la possibilité d'utilisation directe des phosphates minéraux par plusieurs espèces végétales font que ces formes de phosphore exercent un rôle non négligeable dans la nutrition des plantes (Gervy, 1970 cité par Zekkour, 2007).

- **Dans la plante**

Le phosphore joue des rôles primordiaux dans le fonctionnement biologique des plantes puisqu'il participe à de nombreux processus physico-chimiques, biologiques et enzymatiques. Il est l'un des principaux constituants des acides nucléiques en joignant les nucléotides. Il est aussi un des constituants des phospholipides des membranes végétales (Sanchez *et al.*, 2009). Le phosphore active la croissance des bourgeons et des racines et joue aussi le rôle d'activateur dans la mise en réserve des glucides. Le phosphore (P) est vital pour la croissance des plantes et se trouve dans chaque cellule vivante de la plante et sa concentration varie généralement de 0,5 à 1 % (Saouli, 2016).

3.5.4.3 Le potassium dans le sol et dans la plante

- **Origine du potassium dans le sol**

L'écorce terrestre présente une teneur moyenne en K_2O estimée à 3,2% (Mhiri, 2002), le potassium se rencontre à l'état naturel dans de nombreux constituants minéraux dont principalement les minéraux silicatés (feldspaths potassiques, micas, argiles). Mhiri (2002) souligne que les minéraux argileux constituent à la fois, le principal réservoir et le piège à potassium dans les sols si bien que la teneur en potassium est utilisée comme critère de distinction des minéraux d'altération.

- **Teneur des sols en potassium total**

Pour ce qui est de la teneur des sols en potassium total, il apparait que les sols à texture fine (texture argileuse, argilo-limoneuse, ...) sont potentiellement plus riches en K total que ceux à texture grossière, à l'exception de certains sols franchement sableux, riches en feldspaths potassiques. Cependant la teneur en K total d'un sol n'indique pas le niveau de disponibilité de cet élément pour la plante cultivée.

- **Compartiments du potassium dans le sol**

Le compartiment potassique disponible pour les plantes est le potassium échangeable qui comprend deux formes dont le potassium de la solution du sol et celui absorbé sur les surfaces externes des minéraux argileux en particulier, parmi lesquelles s'opèrent des échanges ioniques rapides et incessants (Mhiri, 2002 ; Aïssa et *al.,* 2002**).** Un autre compartiment observé à l'opposé du précédent et représentant plus de 95% du potassium total des sols argileux est le potassium de constitution à l'intérieur de l'édifice cristallin des argiles. Une troisième forme intermédiaire est le potassium fixé (ou rétrogradé). Des échanges lents, entre les différentes formes, sont possibles dans certaines conditions avec le potassium échangeable (Coulter, 1972 ; UNIF, 2006).

- **Le potassium dans la plante**

Le potassium est indispensable à la vie, il participe directement à la formation et à la croissance de la cellule. Il est nécessaire dans la synthèse des protéines et l'utilisation des glucides. Le potassium est abondant dans la matière sèche des végétaux. Il intervient dans l'équilibre acido-basique des cellules et régularise les échanges intercellulaires, réduit la transpiration des plantes augmentant la résistance à la sécheresse et active la photosynthèse, favorise la formation des glucides dans la feuille et contribue à favoriser la floraison. Le potassium influence davantage la qualité des fruits que tout autre élément, il joue également un rôle capital dans la formation et le grossissement du fruit (UNIF, 2005).

- **Carences en potassium chez les agrumes**

Les symptômes visuels d'une insuffisance en potassium peuvent varier au cours de la saison décroissance. Des taches jaunes ou couleur de bronze apparaissent d'abord le long de la marge foliaire. Ces tâches s'élargissent, puis se rejoignent, jusqu'à ce que la feuille soit entièrement couverte et de la même couleur jaunâtre. L'éclatement des fruits est causé également par des faibles niveaux de potassium. Des analyses régulières des tissus foliaires sont recommandées comme moyen de prévention. Les applications de potassium produisent des feuilles vertes sombres et vigoureuses.

4. Etude de la qualité du fruit

Introduction

Pour le maintien de la santé humaine, la consommation des fruits, frais ou sous forme de jus, joue un rôle important, vue leur composition très riche en éléments essentiels pour le régime alimentaire. C'est ainsi la raison pour laquelle le consommateur cherche souvent les fruits colorés, juteux, à chair fondante et parfumée, sans pépins et facile à éplucher. En outre, la qualité de fruit est le grand souci que cherche le consommateur, soit au niveau interne, soit, au niveau international. Comme étant l'un des premiers producteurs d'agrumes, le Maroc forme également avec l'Espagne, Palestine et l'Italie les principaux pays exportateurs de la région méditerranéenne (Zaouiet, 2010).

Néanmoins, pour préserver cette place et faire face à une grande concurrence, il doit améliorer la qualité de sa production. En effet, la qualité de tous produits destinés à l'homme est l'aptitude à satisfaire ses besoins. Ces dernières varient et sont issues de différentes considérations (goût, santé, service, etc.) et donc la qualité ne peut pas être prise comme une seule unité, elle peut contenir différentes composantes chacune répondant à une certaine exigence du consommateur. Les quatre composantes essentielles sont :

- La qualité sensorielle ou organoleptique et psychosensorielle ;
- La qualité nutritionnelle ;
- La qualité hygiénique ;
- La qualité marchande. (VIERLING, 1998).

La qualité des fruits comprend plusieurs critères qui s'intéresse aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur : écorce, couleur, calibre et forme du fruit, la présence ou non de pépins, la tenure en jus, la tenure en sucre, l'acidité, le degré de maturité, la tenure en acide aminé et en vitamines (El Otmani et Ait Oubahou, 1998).

4.1 La qualité externe

Les normes utilisées pour classer les agrumes se basent sur les facteurs liés à l'écorce comme la couleur, la texture, les défauts de cueillette, les caractéristiques variables, la forme, la fermeté, la maturité les défauts liés aux ravageurs et aux maladies, etc.

4.1.1 Ecorce

L'apparence de l'écorce est le premier critère sur laquelle le consommateur se base pour faire son choix. L'écorce remplit plusieurs critères : l'épaisseur, la fermeté, l'adhérence et la

texture. Le boursouflement, bien qu'il soit un phénomène normal chez certaines espèces, en particulier chez les mandariniers et les bigaradiers, il est considéré pour nombreuses variétés comme un défaut lié à la maturation du fruit (Aubert, 1992).

4.1.2 Coloration du fruit

La couleur de l'écorce est considérée un critère très important sur lequel le consommateur s'appuie. Elle est le résultat d'une combinaison de pigments photosynthétiques comme chlorophylle, le carotène, et non photosynthétiques citant les anthocynes, les lycopènes et autres qui, selon leurs concentrations, définissent la coloration finale de l'écorce, sous l'action du froid, la chlorophylle est masquée et laisse aux autres pigment la possibilité de se révéler par leur propre couleur (Demarly et Sibi, 1996).

Selon les normes exigées par l'Etablissement Autonome de Contrôle et de Coordination des Exportations, les fruits doivent avoir une coloration typique de la variété sur la totalité de l'épiderme, les clémentines Monreale la coloration doit être typique de la variété sure au moins 1/3 de la surface de fruit et la chair d'être de couleur orange.

Parmi les facteurs qui influencent sur la couleur de l'écorce, la lumière et la température. Ainsi, les fruits ombragés sont plus pauvres en couleur que les fruits exposés au soleil. En plus du climat, la vigueur de l'arbre a un effet prononcé sur la couleur du fruit. Généralement les arbres vigoureux et développés produisent plus de fruits sternes que les moins vigoureux (Davies et Albrigo, 1994).

4.1.3 Calibre et forme

Le calibre peut être déterminé par la mesure du diamètre de la section équatoriale du fruit. Les normes exigées par l'Etablissement Autonome de Contrôle et de Coordination des Exportations : pour le calibre minimal sont de 54 mm pour les oranges, 46 mm pour les mandarines et leurs hybrides et 36 mm pour les clémentines. L'échelle du calibre pour les clémentines varie entre 1 et 10 et le calibre des fruits destinés à l'exportation varient de 1 à 4.

En plus du calibre, le fruit d'agrumes sont caractérisés également par leur forme, ce critère est défini comme étant le rapport diamètre équatorial /diamètre polaire (DE/DP) :

- Si DE/DP =1, le fruit est rond ;
- SiDE/DP>1, le fruit est aplati ;
- SiDE/DP<1, le fruit et ovoïde ;

Comme le fruit est consommé frais, le calibre du fruit est l'un des facteurs essentiels et l'un des éléments primordiaux pour l'établissement du prix sur les marchés internationaux. Le calibre

des fruits et sous l'effet de plusieurs facteurs incluant le cultivar, le porte-greffe, la conduite de la culture et les pratiques culturales. Par exemple, la fertilisation a un effet sur le poids et le calibre de fruit. En effet, dans le cas de la clémentine Cadoux, les trois applications foliaires à base de potassium conduisent à l'augmentation de calibre et le poids des fruits de la clémentine (Hamza et *al.,* 2010). De plus, le calibre des fruits varie avec les conditions climatiques. Sous les conditions tropicales et subtropicales humides, la forme est aplatie alors que sous les conditions arides, les fruits sont plus sphériques (Davies et Albrigo, 1994).

4.2 La qualité interne

Les paramètres de qualité interne qui sont communément utilisés à travers le monde comme indicateurs de la maturité sont : La teneur en sucre(E), la teneur en acide(A), le rapport E/A et la teneur en jus des fruits.

Tableau 3**:** Normes minimales de la qualité des fruits de la Clémentiniers, fixées par L'EACCE
Source : Décision du Directeur Général de l'EACCE relative au contrôle technique à l'exportation des agrumes

Critère de qualité	**Normes**
Calibre	36 mm
Teneur en jus	40 %
Teneur en sucre	9 %
Teneur en acide	1 %
Rapport sucre/acide	7 %

4.2.1 Teneur en jus

Le pourcentage de jus dans le fruit est un indice de qualité chez les agrumes. En effet, les fruits les plus juteux sont les plus demandés et les plus appréciés par le consommateur. Le pourcentage du jus minimum exigé par l'Etablissement Autonome de Contrôle et de Coordination des Exportations diffère selon les variétés. En effet le rendement en jus de la clémentine doit être au minimum de 40 % alors que celui des Satsumas, Ortanique, autres Mandarines et hybrides de mandarines doit être au minimum de 33 % (EACCE, 2005).

Le pourcentage de jus est influencé par plusieurs facteurs à savoir le climat, les pratiques culturales, les porte-greffes, etc. L'ombrage affecte positivement la teneur en jus. En effet (Fallali et *al.,* 1989), ont rapporté que les fruits ombrés se caractérisent par un rendement élevé en jus

contrairement à ceux exposés au soleil. La position du fruit sur l'arbre affecte aussi la qualité interne des fruits d'agrumes. La fertilisation a un effet sur la teneur en jus, (Hamza et al, 2010) ont montré que les effets de la fertilisation foliaire potassique diffèrent selon la densité d'une part, et les concentrations d'autre part de KNO_3/K_2SO_4 en potassium et les nombres d'applications foliaires d'autre part.

4.2.2 Nombre de pépins

Le fruit qui contient moins de pépins est plus apprécié par le consommateur. L'absence de pépins, plus particulièrement dans les fruits destinés à l'exportation, et l'une des caractéristiques essentielles de leurs qualités commerciales.

4.2.3 Nombre de quartiers (loges)

Le nombre de loges est un caractère lié au fruit puisqu' il diffère d'un fruit à un autre. Ce paramètre détermine de sa part la qualité d'un fruit. Ceux qui contiennent un grand nombre (plus que 12) sont moins appréciés par le consommateur.

4.2.4 Teneur en sucre

La teneur en sucre(E) est exprimée en °Brix (matières sèches totales), ce dernier donne une idée sur le pourcentage des sucres dans la matière sèche qui varie entre 70% et 80%, ainsi que leurs pourcentages dans le jus. Les carbohydrates dominants sont : Monosaccharides (Glucose et Fructose qui sont des sucres réducteurs majeurs.), Hémicellulose (Pectines) et Polysaccharides (Cellulose et amidon). Au cours de la maturation des fruits, le pourcentage des sucres, surtout celui de saccharose, augmente progressivement et régulièrement chez la plupart des espèces d'agrumes (Koch et*al.*, 1986) à l'exception des espèces dont les fruits sont acides telles que les limes et les citrons (Ladanyia, 2008).

Plusieurs facteurs peuvent influencer la teneur en sucre comme le climat, les techniques culturales. Dans les régions sub-tropicales comme la Floride, l'orange valencia tend à produire des teneurs en sucres très faibles au début de la maturité par rapport à celle des climats chauds et secs comme l'Arizona et l'inde (Reuther, 1973). Alors que sur arbre, les fruits issus de la partie ensoleillée ont une teneur en sucre plus élevée (Davies et Albrigo, 1994). L'humidité, la pluie et l'irrigation ont un effet négatif sur la teneur en sucre des fruits de clémentinier, mandarinier et pamplemoussier. Ainsi, une étude en Floride sur les oranges et les pamplemousses irriguées montre que leurs teneurs en jus sont élevées et leur teneur en sucre est faible (Carter et *al.,* 1971).

La fertilisation potassique foliaire peut faire varier la teneur en sucre. En effet, elle a légèrement amélioré les taux des sucres totaux des fruits de clémentine (Hamza et *al.,* 2010). Par

contre, une application élevée du potassium donne une diminution de la teneur en sucre (Reuter et Smith, 1952, cité par Ting et Attawy, 1971).

4.2.5 Acidité d'un fruit et rapport sucre/acide

La mesure de l'acidité est basée sur la neutralisation des acides contenus dans le jus des fruits par la soude (généralement la neutralisation atteinte lorsque le ph atteint 8,1). Plus le jus sera acide, plus il faudra verser de la soude pour le neutraliser. C'est donc par ce volume de soude que pourra être évaluée l'acidité dans les niveaux varient en fonction de la variété, l'espèce, mais également de la charge de l'arbre et de la climatologie de l'année (OEAP, 2012).

Les acides organiques contribuent significativement à l'acidité du jus. En effet, l'acide dominant est l'acide citrique (70% à 90%) suivi par l'acide malique, oxalique, lactique et autres acides (Davies et Albrigo, 1994). La qualité du jus des fruits est influencée principalement par l'acidité totale, qui nous permet de déterminer la date de récolte en utilisant le rapport E/A.

Le rapport sucre/acidité constitue également un indicateur de la maturité commerciale et de la maturité de consommation. Au début du processus de maturation, le rapport sucre / acidité est faible, en raison d'une faible teneur en sucres et d'une teneur en acide élevée, ce qui rend le fruit aigre. Durant le processus de maturation, les acides sont dégradés, la teneur en sucre augmente et le rapport sucre/acidité prend une valeur plus élevée (Handaji, 2007).

Dans cette étude, on s'intéresse principalement à étudier les paramètres de qualité suivant:

- ✓ La coloration du fruit,
- ✓ Le calibre,
- ✓ Le poids,
- ✓ La Teneur en jus,
- ✓ La teneur en sucre,
- ✓ L'acidité,
- ✓ Le Rapport sucre/acide.

Partie II : Matériel et méthodes

5. Matériel et méthodes

5.1 Présentation de la région d'étude

5.1.1 Situation géographique et climat

Le Domaine Agricole de Trifa (Ahfir) est compris entre34°57'07.0" de latitude Nord et 2°07'01.3"de longitude West avec une altitude de 200 mètres. Délimité par la Méditerranée au Nord, par l'Oued Kiss (Frontière avec l'Algérie) à l'Est, par la chaîne des Beni-Snassen au Sud et par différents massifs dont le Rif à l'Ouest (Figure 11- A). Le climat de la région est de type méditerranéen semi-aride. La pluviométrie moyenne annuelle varie autour de 350 mm avec des variations de 250 à 425 mm selon les années. Les températures sont clémentes et favorables pour les cultures primeurs et sous-abris à cause de l'absence de gelée en zones côtières. Les températures moyennes pendant l'hiver sont autour de 4 à 6 °C et de 27 à 30 °C en été (ORMVAM, 2017).

5.1.2 Parcelle d'étude

L'essai est conduit au Domaine Agricole de Trifa (Ahfir) dans une parcelle de clémentinier 'Berkane' (*Citrus reticulata Blanco*) greffé sur *Citrange carrizo* avec un écartement (2 x 6 m), Les arbres de cette parcelle sont âgés de 7 ans, conduit sur des ados et irrigués en goutte à goutte (Figure 11- B).

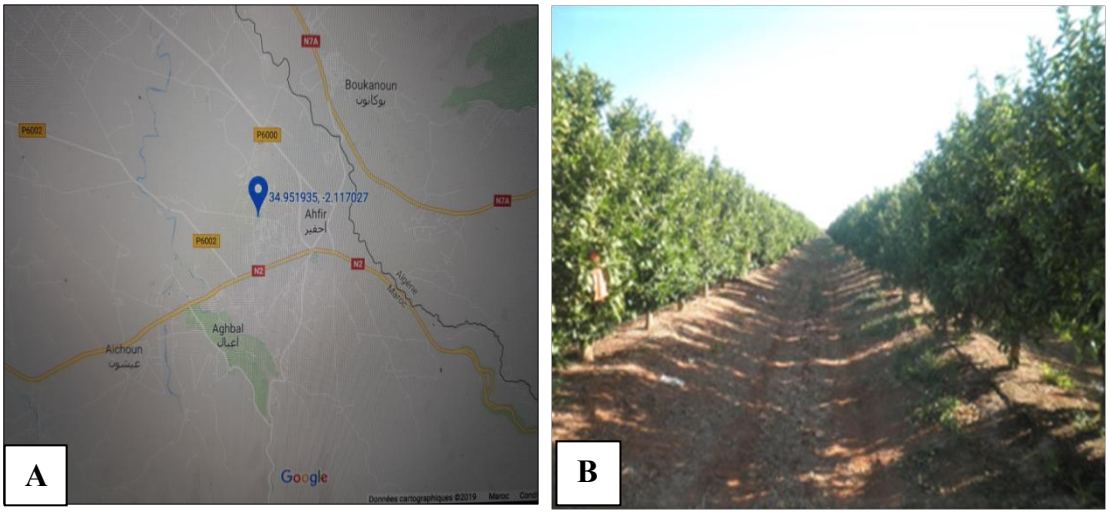


Figure 11: Site de l'essai au Domaine Agricole Trifa (Ahfir) **(A).** Parcelle d'essai au Domaine Trifa (clémentinier 'Berkane') **(B).**

5.2 Protocole expérimental

5.2.1 Principe

Le dispositif expérimental est subdivisé en 3 blocs comprenant chacune 7 traitements, le nombre de répétitions pour chaque traitement dans les différents blocs. On laisse un arbre entre les traitements. Les traitements étudiés qui sont des doses (2 %, 3 % et 4 %) d'angarie foliaire de sulfate de potassium (K_2SO_4).

Traitement 1= nombre de répétition = 3 arbres.

Traitement 2= nombre de répétition = 3 arbres.

Traitement 3= nombre de répétition=3 arbres.

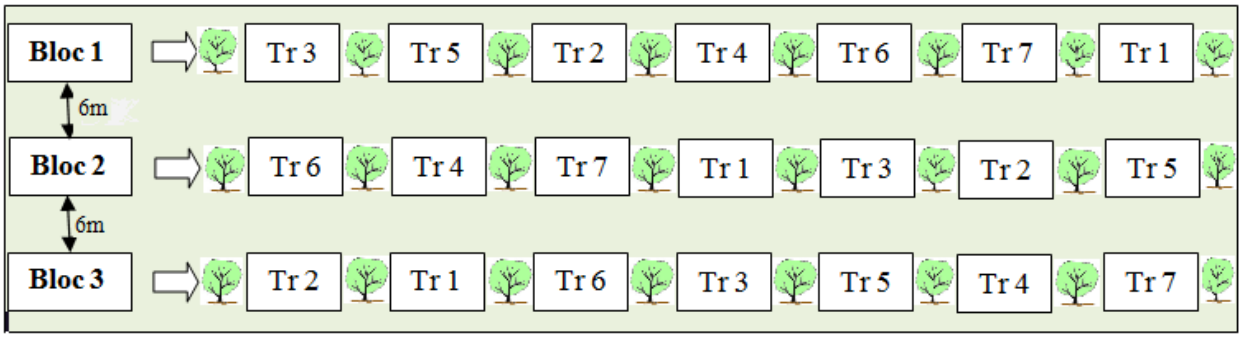
Traitement 4 = nombre de répétition=3 arbres.

Traitement 5 = nombre de répétition=3 arbres.

Traitement 6 = nombre de répétition=3 arbres.

Traitement 7(témoin) = nombre de répétition=3 arbres.

5.2.2 Dispositif expérimental



5.2.3 Condition des traitements

Les applications foliaires ont eu lieu lorsque environ 80 % des fruits sur arbre ont atteint un diamètre équatorial de 15-20 mm (Figure 12). La durée entre deux applications foliaires successives est une semaine.

- 1ère Applications foliaires : 13 Juillet 2018 (après prélèvement des échantillons des feuilles)
- 2ème Applications foliaires : 20 Juillet 2018
- 3ème Applications foliaires : 25 Juillet 2018

Figure 12: calibre du fruit préconisé pour les premières applications foliaires.

5.3 Matériel végétal

Le matériel végétal qui a fait l'objet de cette étude est la variété de clémentinier 'Berkane' (*Citrus reticulata Blanco*) greffé sur *Citrange carrizo.* Après trois applications d'engrais foliaires potassiques, à l'état de maturité optimale 10 fruits ont été récoltés dans toutes les directions de l'arbre, ces fruits dépourvus de tous défauts tels que les brûlures dues au soleil et les dommages causés par des insectes ou des maladies, qui pourraient affecter le processus normal de la maturation. Les échantillons collectés ont été mis dans des sachets en plastique identifiés (Figure 13) et ramenés au laboratoire de phytopathologie et de qualité (l'INRA de Kenitra) pour les analyser.

Figure 13: Échantillons de clémentines récoltés et mis dans des sachets en plastique

5.4 Analyse du sol

Les échantillons de sols sont prélevés à la parcelle de l'essai (Figure 14-A) en trois répétitions à des profondeurs suivantes : 0-30, 30-60 et 60-90 cm. Un échantillon composite d'environ de 1 Kg (Figure 14-B) pour chaque profondeur a été retenu pour les analyses physico-chimiques avant les applications foliaires de Sulfate de potassium (K_2SO_4). Les analyses physico-chimiques du sol ont été réalisé par Dr. Hamza Abdellhak. Le sol de la parcelle d'essai est caractérisé par un pH légèrement alcalin (7,9), un taux élevé de salinité (CE= 0,4 ms) et une texture limon-argileux, pourvus en matière organique, en phosphore et en potasse. Les teneurs en ces éléments sont acceptables et suffisantes pour une production de clémentinier, le tableau 4 montre les différents éléments du sol de la parcelle d'essai.

Figure 14 : Prélèvement d'échantillon du sol (A), Echantillon composite du sol (B)

Tableau 4: Résultats des analyses du sol de la parcelle d'essai

Profondeur (cm)	Sable	Limon gros	Limon fins	Argile	$CaCO_3$ total	$CaCO_3$ actif	*pH*	CE (mS)	Azote Min (ppm N)	MO (%)	P_20_5 (ppm)	K_2O (ppm)
0-30	12,4	9,7	48,0	29,9	10,8	1,0	7,86	0,329	42,1	2,38	86,2	708,0
30-60	10,5	8,4	49,3	31,8	11,2	1,2	7,87	0,318	40,0	2,19	20,7	660,0
60-90	12,8	10,0	46,1	31,1	11,8	2,3	7,93	0,346	35,0	1,89	15,8	528,0

En effet, les teneurs du sol recommandés pour les agrumes sont aux environs de 5 % de matière organique (M.O.), avant plantation, mais après plantation, ce taux de M.O. diminue et se stabilise autour de 1 - 2 % quand les arbres d'agrumes deviennent adultes. En outre, les teneurs en phosphore et en potassium exprimés successivement comme P_2O_5 et K_2O sont dans les normes standards. Le Tableau 5 montre les normes standard des teneurs du sol en P_2O_5 et K_2O, pour une profondeur de 30 cm.

Tableau 5 : Les normes standard des teneurs du sol en P_2O_5 et K_2O, pour une profondeur de 30 cm (Obreza et *al*., 2008).

	Niveau				
Eléments (ppm)	**Très faible**	**Faible**	**Moyen**	**Elevé**	**Très élevé**
P_2O_5	< 10	10-15	16-30	31-60	> 60
K_2O	< 200	200-300	300-420	420-500	> 500

5.5 Analyses des feuilles

Les analyses foliaires ont été faites avant et après la 1ère, 2ème et 3ème application foliaire. Avant chaque analyse, des échantillons de 30 feuilles/arbre/traitement ont été prélevés, mis dans des sacs en plastique, étiquetés avant leur transfert au laboratoire (INRA Rabat) pour l'analyse minérale du K, Ca et Mg (Figure 15). Les analyses foliaires ont été réalisé par notre encadrant Dr. Hamza abdellhak. Les analyses des feuilles ont montré que les niveaux initiaux de potassium (K optimum = 1,2 -1,7 %), calcium ($3 \leq$ Ca optimum $\leq 4,9$) et magnésium ($0,3 \leq$ Mg optimum $\leq 0,49$) dans les feuilles, sont dans les normes standard ce qui nous permet de conduire cette essai des applications foliaires potassiques sans contraintes. Le tableau 5 montre les normes standards des analyses foliaires des arbres d'agrumes adultes, basés sur des feuilles âgées de 4-6 mois et situées sur des rameaux non fructifères (Obreza et a*l*, 2008).

Tableau 6 : les normes standards des analyses foliaires des arbres d'agrumes (Obreza et *al*,2008)

Elément	Déficient	Faible	Optimal	Elevé	Excessif
P (%)	<0,09	0,09-0,11	0,12-0,16	0,17-0,30	>0,30
K (%)	<0,7	0,7-1,1	1,2-1,7	1,8-2,4	>2,4
Ca (%)	<1,5	1,5-2,9	3,0-4,9	5,0-7,0	>7,0
Mg (%)	<0,20	0,20-0,29	0,30-0,49	0,50-0,70	>0,70

Figure 15: Echantillons de feuilles prélevées pour analyses minérales

5.6 Analyses de la qualité du fruit

5.6.1 Qualité externe

5.6.1.1 Détermination d'indice de coloration

Il est mesuré à l'aide d'un colorimètre : *Chroma mètre Minolta CR-400/410*, appareil qui mesure la couleur par réflexion d'un rayon lumineux sur le fruit, il caractérise chaque couleur de façon unique par des chiffres et non par un spectre. Il convertit les couleurs situées dans la plage de perception humaine, en un code numérique caractérisé par trois valeurs L*a*b* repérables dans un espace cartésien.

Parmi les 10 fruits récoltés, la détermination d'indice de coloration est faite pour 5 fruits d'une manière aléatoire. Ainsi, la coloration est mesurée par l'apposition du *« tube de projection de lumière »*sur l'épiderme de fruit (Figure16-A), puis on clique sur le bouton de mesure. Le résultat comprenant les 3 paramètres a*, b* et L* s'affiche sur l'écran de l'appareil (Figure16-B).On prend toujours trois mesures par fruits, les valeurs trouvées ont été enregistrées, et après on détermine la moyenne de chaque paramètre. L'indice de coloration a été calculé selon la relation :

$$\text{Indice de coloration (I.C)} = 2000 \times a / L \times (a + b)^{0,5}$$

L* représente la luminance, soit une opposition de couleur noir-blanc. Les axes a* et b* représentent respectivement les oppositions de couleurs rouge-vert et bleu-jaune (López Cameloet *al.,* 1995).

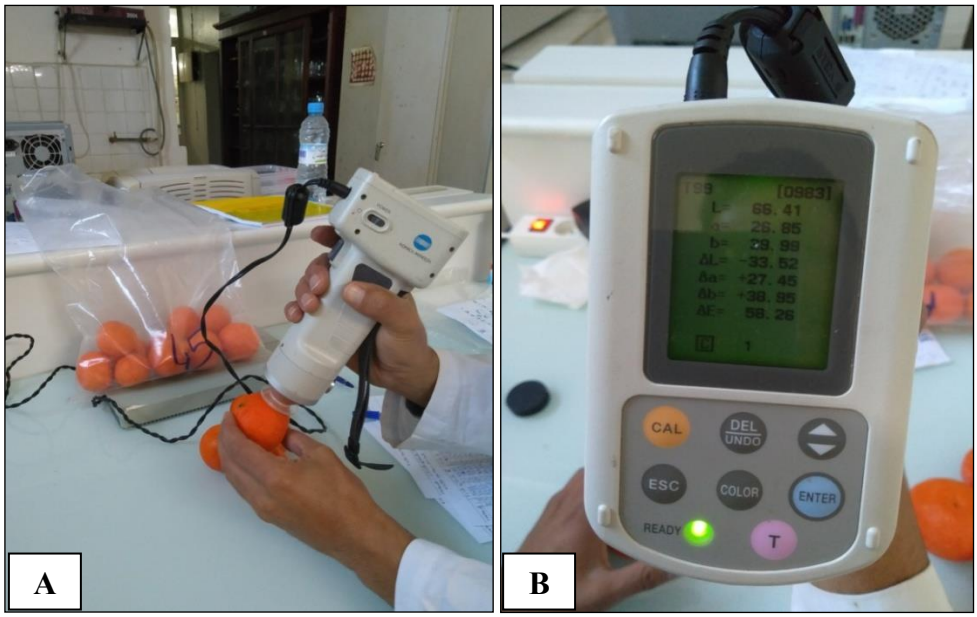


Figure 16: Méthode de mesure de la coloration par le colorimètre (A), le résultat obtenu sur l'écran de l'appareil (B).

5.6.1.2 Mesure de calibre et poids

Le calibre du fruit est déterminé par la mesure du diamètre de la section équatoriale du fruit à l'aide d'un pied à coulisse électronique gradué du zéro à 150 mm (figure 17- B) puis le poids de chaque fruit est mesuré dans une balance électrique (Figure 17- A). Les valeurs trouvées sont enregistrées pour déterminer la moyenne des fruits.

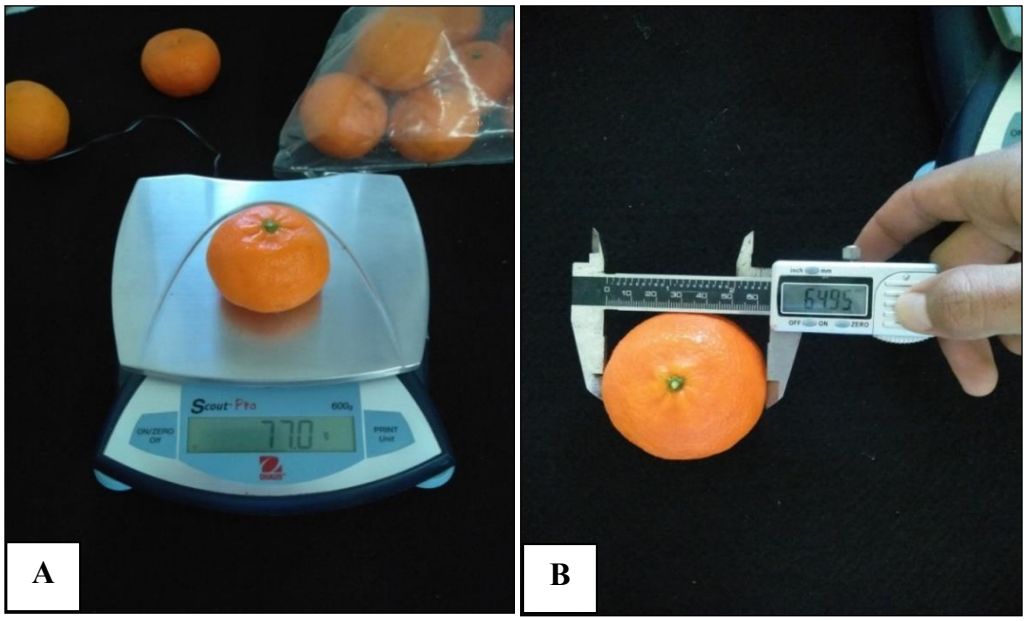


Figure 17: (A) : Mesure du poids d'un fruit à l'aide d'une balance électrique, (B) : Mesure le calibre de fruit à l'aide d'un pied à coulisse (photos personnelles).

5.6.2 Qualité interne

5.6.2.1 Détermination de la teneur des fruits en jus

Après la détermination de la coloration, le calibre et le poids, les fruits ont été coupés en deux dans le sens de largeur (Figure18-B) et l'extraction du jus a été effectuée par un extracteur à toupie tournante (Figure18-C). La précision de cette mesure est moyenne, vu les pertes en jus occasionnées par cet appareil. Il est indispensable d'extraire totalement le jus de fruits. Le jus recueilli est filtré à travers un filtre en plastique puis pesé à l'aide d'une balance électrique (Figure 18-D). Avant l'extraction de jus, on a mesuré le poids total de 10 fruits à l'aide d'une balance électrique (Figure 18-A). La teneur minimale en jus des clémentines est fixée à 40 % par L'Etablissement Autonome de Contrôle et de Coordination des Exportations. La teneur en jus exprimé, en pourcentage massique, est donnée par la formule (OCDE, 2005) :

$$\text{Teneur en jus} = \frac{\textbf{Poids total de jus(g)-poids du bécher (g)}}{\textbf{Poids total du fruit (g)}} \times 100$$

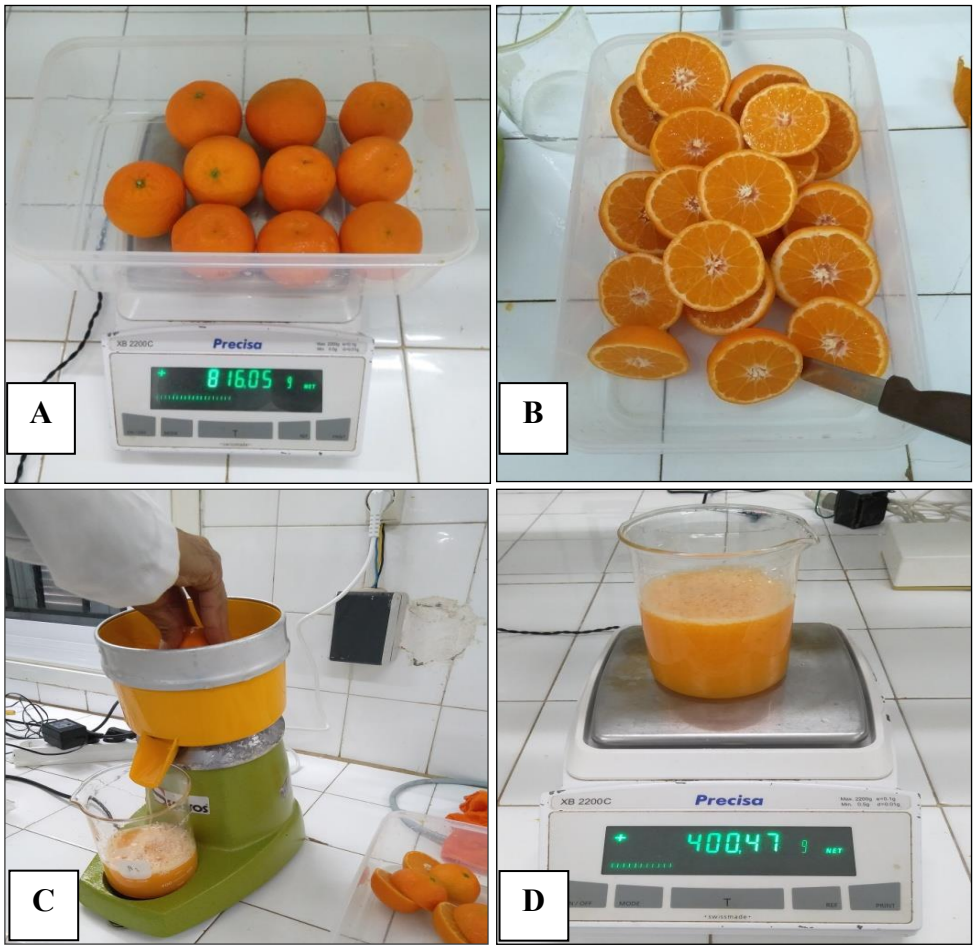


Figure 18**:** Mesure du poids de 10 fruits avec une balance électrique (A), les fruits coupés en deux dans le sens de largeur (A), extraction de jus en utilisons un extracteur à toupie tournante (B), mesure de poids du jus extraie avec une balance électrique (C) (photos personnelles).

5.6.2.2 Teneur en sucre ou l'extrait sec soluble (ESS)

La détermination de la Teneur en sucre a été effectuée à l'aide d'un réfractomètre à main *ATAGOPAL-1(0-53 %)*, dont les avantages sont bien connus : la précision, la rapidité de la mesure, la possibilité d'opérer avec une faible quantité de jus. Avant de commencer cette mesure, il est important de calibrer d'abord ce dernier à fin d'obtenir des résultats significatifs, pour ce but des gouttes de l'eau distillée ont été déposées sur la surface de prisme et la valeur affichée égale à zéro. Le plateau du prisme a été essuyé à l'aide d'un morceau de tissu doux, ensuite des gouttes de jus préalablement extraites et es ont été déposées sur la surface du prisme et en cliquant sur le bouton de mesure, le résultat sera affiché sur l'écran de l'appareil (Figure 19). En fait, sa détermination est basée sur la capacité des sucres d'un jus à faire dévier la lumière (OCDE, 2005). La teneur minimale en sucre de la clémentine est fixée à 9 % par l'Etablissement Autonome de Contrôle et de Coordination des Exportations.

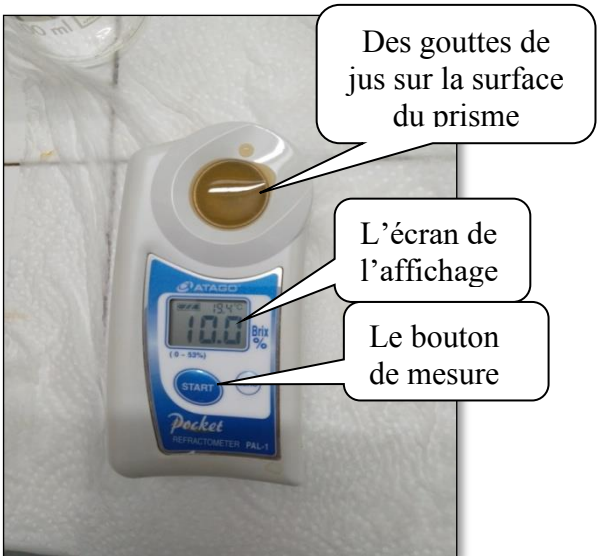


Figure 19: Détermination de la teneur en sucre ou Brix par réfractomètre

5.6.2.3 Dosage de l'acidité

L'acidité du jus correspond à la somme des acides minéraux et organiques libre dans le jus. Il s'agit de l'acide citrique qui est le plus prédominant et représente 85% à 95 % des acides totaux des jus d'agrumes.

Le dosage de l'acidité nécessite l'utilisation d'une solution alcaline de soude, cette solution est obtenue en mélange 4g de soude dans un litre d'eau puis la solution de NaOH est mise dans une burette automatique. Le titrage s'enchaîne comme suit on prélève 10 ml de jus à l'aide d'une pipette et on les dépose dans un bécher auquel trois gouttes de phénophtaléine sont ajoutées avec une pipette compte-gouttes. Le dosage est effectué en versant lentement la solution NaOH à partir de la burette automatique (Figure 20-A). Pendant le titrage, il est important d'utiliser un agitateur magnétique pour homogénéiser continuellement la solution dans le bécher cette opération est

essentielle en particulier lorsque la solution s approche de la neutralité. La fin de dosage est atteinte lorsque la couleur du jus devient rosâtre et persiste pour indique le point de neutralité (Figure 20-B). Les résultats doivent être exprimés en pourcentage d'acide, et comme certains fruits contiennent des acides différents, il faut appliquer à chaque calcul le coefficient multiplicateur approprié. Dans le cas de l'acide citrique, par exemple, 1ml de NaOH 0.1M équivaut à 0,0064 g d'acide citrique, le résultat final sera donc calculé selon la relation suivante (OCDE, 2005) :

$$\text{Pourcentage d'acide citrique} = \frac{\text{Titre x } 0{,}0064 \text{ x } 100}{10\text{ml jus}}$$

Par simplification, cette formule peut s'écrire :

$$\boxed{\text{Pourcentage d'acide citrique} = \text{Titre x } 0{,}064}$$

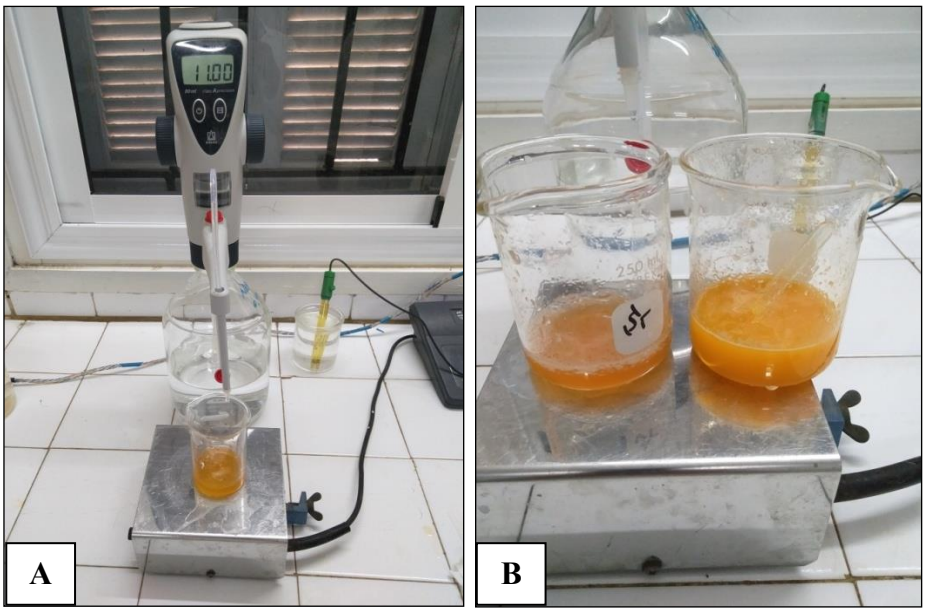


Figure 20: La méthode de titrage de l'acidité (A), virage de la couleur du jaune au rosâtre (B) (photos personnelles).

5.6.2.5 Coefficient de maturité

Le fruit d'agrume se comporte comme un organe non-climactérique. S'il est récolté avant la maturité, il ne pourra jamais acquérir des qualités organoleptiques convenables (Pech et *al.,* 1994). Le rapport est un critère très utilisé dans la détermination de la date de cueillette des fruits d'agrumes ainsi que pour l'exportation. Au début du processus de maturation, le rapport sucres/acidité est bas, en raison d'un contenu en sucres bas et d'un contenu en acides élevé, ce qui rend le fruit aigre. Durant le processus de maturation, les acides sont dégradés, le contenu en sucres augmente et le rapport sucres/acidité prend une valeur plus élevée. Les fruits trop mûrs ont une faible acidité, d'où le manque de saveurs caractéristiques (Handaji et *al.,* 2013). Le coefficient de maturité est déterminé par le rapport (OCDE, 2005) :

$$\frac{E}{A} = \text{Rapport sucres/acidité} = \frac{\text{Pourcentage °Brix}}{\text{Pourcentage d'acide}}$$

5.6.3 Le rendement ou poids en Kg par arbre

Il est déterminé en mesurant le poids de la totalité des fruits de l'arbre de chaque traitement. Il est effectué à l'aide d'une balance. Les mesures du rendement ont été réalisé par mon encadrant Dr. Hamza Abdellhak.

- **Analyse statistique**

L'analyse de la variance à un facteur a été déterminé à l'aide d'un logiciel SPSS pour Windows. Des différentes significative entre les moyennes ont été évaluées avec le teste Tukey à une probabilité de 5 %.

Partie III : Résultats et Discussion

6. Effet des applications foliaires potassiques sur les paramètres de production et de qualité des fruits du clémentinier 'Berkane'

6.1 Effet sur la qualité du fruit

6.1.1 Coloration

La coloration du fruit est l'une des propriétés les plus importantes et les plus complexes de sa qualité. La complexité de la couleur des agrumes est due à la présence d'un système de pigment avec diverses apparences conditionnées par les types et les concentrations pigmentaires et soumis à la fois à la régulation des gènes et de l'environnement (Arias et *al.,* 2000).

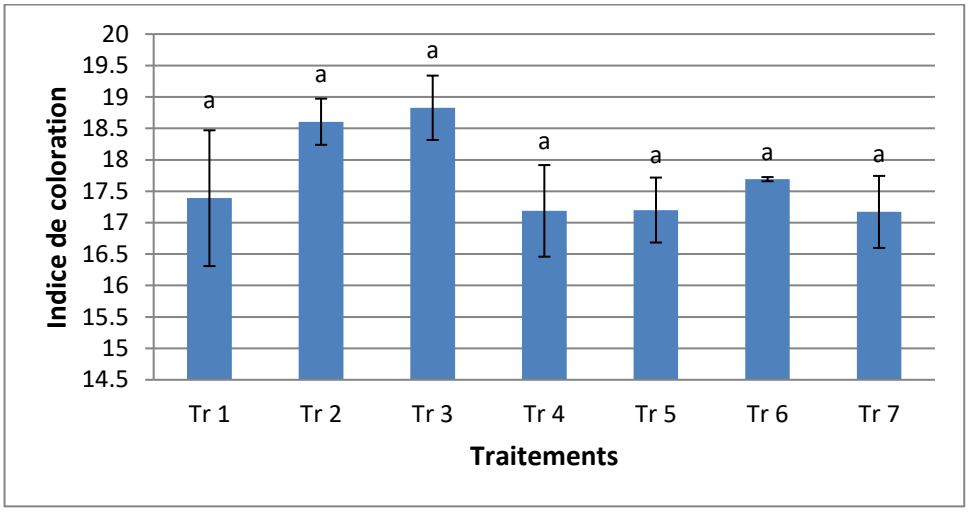


Figure 21: Variation de l'indice de coloration de fruit du Clémentinier Berkane en fonction des différents traitements (Tr 7= Témoin). (Les histogrammes portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différents selon l'analyse de la variance à un seul facteur ($p < 0,05$)).

D'après le graphe (figure 21), l'indice de coloration le plus élevé de 18.83 est observé pour le traitement 3, suivi par le traitement 2 et le traitement 6. Par contre l'indice de coloration chez les traitements 1,4 et 5 présentent l'indice de coloration le plus faible respectivement 17.39, 17.19 et 17.20. D'après les résultats trouvés, on peut conclure que la dose de traitement 3 (à 3% de K_2SO_4 en 2 applications foliaires) a permis de donner de bon indice de coloration supérieure à celui observé chez le témoin. Malgré cette différence dans les valeurs moyennes de la coloration, l'analyse de la variance n'a révélé aucune différence significative concernant l'effet de potassium.

6.1.2 Calibre et poids

- **Calibre**

Comme le fruit est consommé frais, le calibre du fruit est l'un des facteurs essentiels et l'un des éléments primordiaux pour l'établissement du prix sur les marchés internationaux.

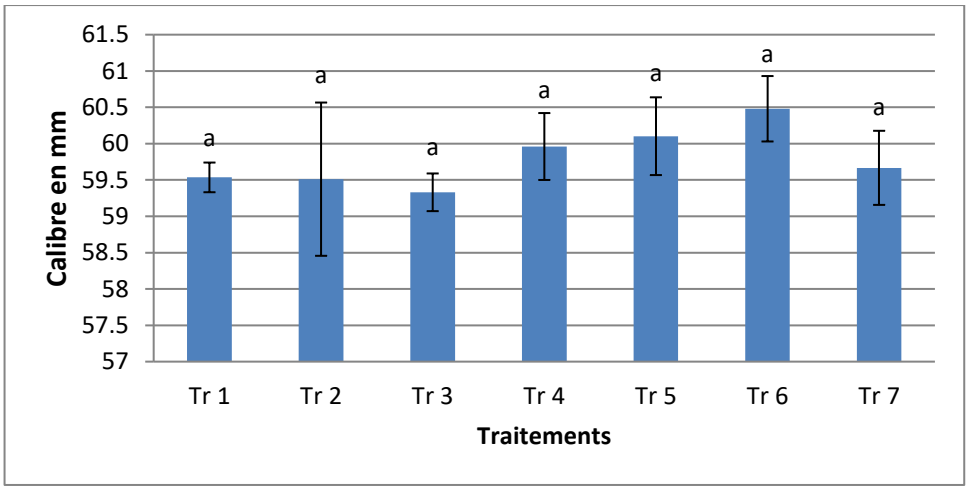


Figure 22 : Variation de calibre de fruit du Clémentinier Berkane en fonction des différents traitements (Tr 7= Témoin).

D'après les résultats obtenus concernant le calibre de fruit (Figure 22), on constate que les traitements qui ont donnés des calibres les plus élevés sont les traitements 4, 5 et 6 dont les valeurs 59,96 ; 60.20 et 60,60 mm respectivement par rapport au témoin. Par contre les faibles calibres sont observés chez les traitements 1, 2 et 3. D'après les résultats trouvés, on peut conclure que la dose de traitement 6 (à 4 % de K_2SO_4 en 3 applications foliaires) a permis de donner de bon calibre par rapport à celui observé chez le témoin. L'analyse statistique montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les doses testée.

Ces résultats sont dus probablement à la présence d'un taux de salinité dans le sol, car l'analyse de sol montre la présence de la salinité. Sachant que les conséquences majeures du stress salin est une perturbation de l'homéostasie Na^+ et K^+ aux niveaux cellulaires et entier, accompagné d'un dysfonctionnement membranaire et d'une atténuation du métabolisme cellulaire, entraînant une inhibition de la division cellulaire, de la croissance, de la photosynthèse et du développement (Omielan*et al.,* 1991; Flowers, 1999; Horie et Schroeder, 2004; Yan *et al.,* 2013; Duan *et al.,* 2015), l'application de la fertilisation foliaire n'a pas réussie.

- **Poids**

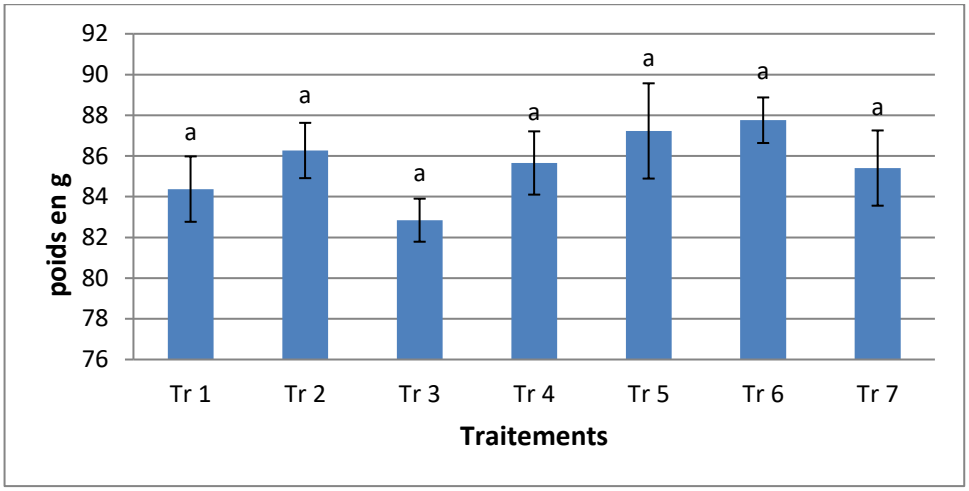


Figure 23: Variation de poids de fruit du Clémentinier Berkane en fonction des différents traitements (Tr 7= Témoin**)**

D'après les résultats de la figure 23**,** le poids le plus élevé de 87.75 g est observé pour le traitement 6, suivi par le traitement 5 et le traitement 2.Par contre le poids chez les traitements 1 et 3présentent le poids le plus faible respectivement 84.37 et 82.84. D'après les résultats trouvés, on peut conclure que la dose de traitement 6(à 4% de K_2SO_4 en 3 applications foliaires) a permis de donner de bon poids supérieur à celui observé chez le témoin. L'analyse statistique montre qu'il n'y a pas de différence significative entre la dose testée et le diamètre des fruits.

La salinité des sols et des eaux d'irrigation constitue une contrainte abiotique dont les conséquences impactent autant la production que la qualité des agrumes. Les résultats de cette expérience sont aléatoires en raison de présence d'un taux de salinité dans le sol. Sachant que les conséquences majeures du stress salin est une perturbation de l'homéostasie Na^+ et K^+ aux niveaux cellulaires et entier, accompagné d'un dysfonctionnement membranaire et d'une atténuation du métabolisme cellulaire, entraînant une inhibition de la division cellulaire, de la croissance, de la photosynthèse et du développement (Omielan*et al.,* 1991; Flowers, 1999; Horie et Schroeder, 2004; Yan *et al.,* 2013; Duan *et al.,* 2015), l'application de la fertilisation foliaire n'a pas réussie.

6.1.3 Teneur en jus

Le pourcentage en jus est un paramètre essentiel pour déterminer la qualité de différents fruits, et plus particulièrement celle des agrumes, dans les clémentines, les oranges, les limes, les citronniers et les mandariniers.

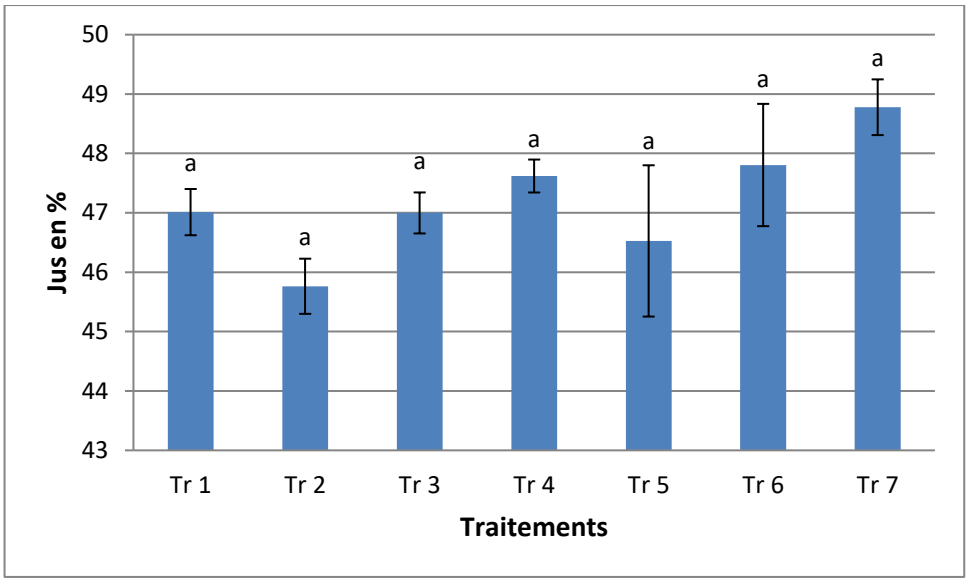


Figure 24: Variation de la teneur en jus de fruits du Clémentinier Berkane en fonction des différents traitements (Tr 7= Témoin).

D'après la figure 24, la valeur maximale du pourcentage de jus est obtenue chez le traitement 7 (témoin). Tandis que les différentes doses de sulfates de potasse appliqué à un effet négatif sur le pourcentage en jus. L'analyse statistique montre qu'il n'y a pas de différence significative (P > 0,05) entre les doses de potasse appliqué. Selon l'établissement Autonome de contrôle et de Coordination des exportations, la teneur minimale en jus des clémentines est fixée à 40 % environ (EACCE, 2010). À travers notre étude tous les traitements ont atteint cette valeur avec un taux maximal de 48,77 %.

*Gé*néralement le pourcentage de jus varie selon l'état de maturité et les conditions climatiques (Russo et Fanizza, 1992 ; Etxeberria *et al*. 2005 ; Iglesias*et al*., 2007; Iqbal *et al*., 2012). De même la qualité du jus des agrumes dépend également d'un grand nombre d'autres facteurs comme le climat (Ebel et *al*., 2004), les conditions de culture (Cabezas et *al*.,2010) ; les porte-greffes (Alireza et *al*., 2012 ; Bermejo et *al*., 2012), l'apport hormonal (Rastegaret Rahemi, 2008 ; Samina et al., 2012) et aussi l'exposition et le positionnement des fruits dans l'arbre.

6.1.4 Teneur en sucre

Les sucres ne sont pas seulement des sources d'énergie et des composants structuraux, mais ils ont aussi un rôle central dans la régulation des molécules, le contrôle de la physiologie, du métabolisme, du cycle de la cellule, de son développement et de l'expression de gène.

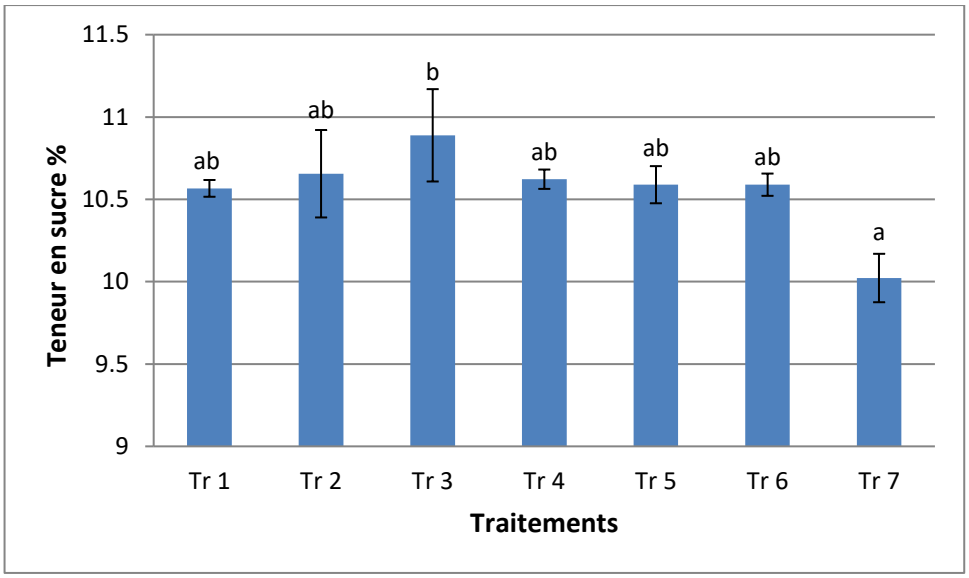


Figure 25: Variation de la teneur en sucre de fruits du Clémentinier Berkane en fonction des différents traitements (Tr 7= Témoin).

D'après les résultats de la figure 25**,** la teneur en sucre le plus élevé de 11,43 % est observée pour le traitement 3, suivie par le traitement 2, est ensuite par le traitement 4. Par contre la teneur en sucre le plus faible est enregistrée pour le traitement 7. D'après les résultats trouvés, on peut conclure que les différentes doses de sulfates de potasse applique à un effet positif sur le pourcentage en sucre, ainsi que l'étude des analyses statistiques réalisés a montré qu'il y a une différence significative entre les traitements.

6.1.5 Acidité

Les agrumes sont caractérisés par leur acidité typique qui peut être très marquée due à une richesse en acide citrique (5 %) comme dans le cas du citron, ou plus douce avec un taux d'acide citrique faible (0,8 %) exemple de la clémentine.

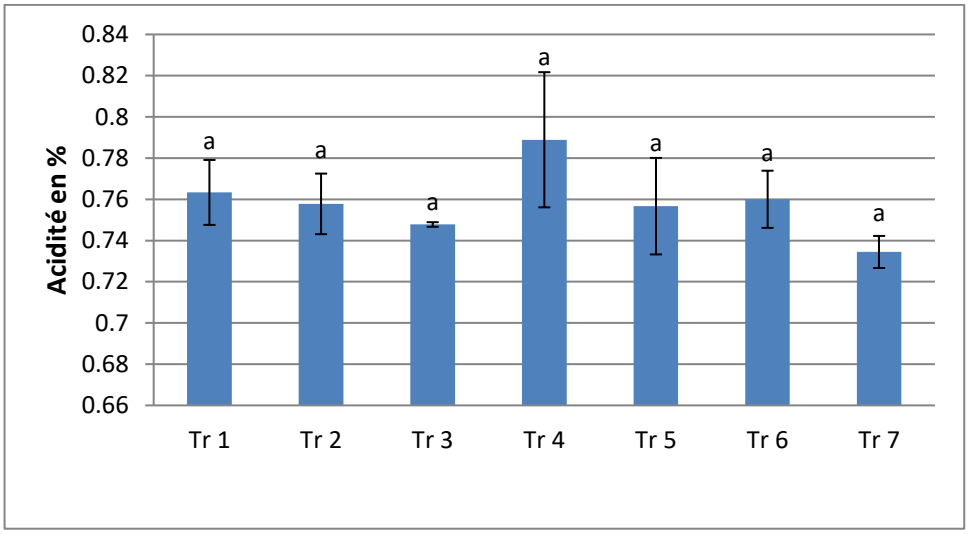


Figure 26: Variation de l'acidité de fruit du Clémentinier Berkane en fonction des différents traitements des différents traitements (Tr 7= Témoin).

D'après le graphe (figure 26), le pourcentage d'acidité le plus élevé de 0,78 est observé pour le traitement 4, suivi par le traitement 1, est ensuite par le traitement 6. Par contre le pourcentage d'acidité le plus faible est enregistré pour chez le témoin. D'après ces résultats on n'a observé que l'application foliaire potassique à un effet positif sur le pourcentage d'acidité des fruits. Malgré cette différence dans les valeurs moyennes de l'acidité, l'analyse de la variance n'a révélé aucune différence significative concernant l'effet de dose de potassium.

6.1.6 Coefficient de maturité $\frac{E}{A}$

Si le fruit d'agrume est récolté avant la maturité, il ne pourra jamais acquérir les qualités organoleptiques convenables (Pech*et al.,*1994). Des études de Moreau-Rio *et al. (*1995), combinent les deux critères, teneur en sucre et acidité, en prenant comme indice de qualité le rapport indice réfractométrique /acidité titrable. Ce coefficient de maturité est un critère très utilisé dans la détermination de la date de récolte des fruits d'agrumes ainsi que pour l'exportation.

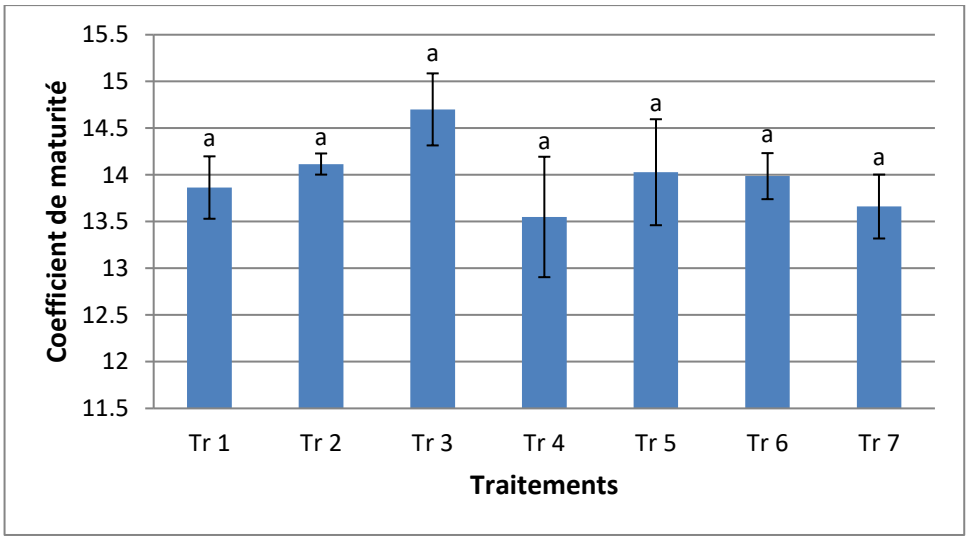


Figure 27: Variation de coefficient de maturité de fruits du Clémentinier Berkane en fonction des différents traitements (Tr 7= Témoin).

D'après les résultats de la figure 27**,** le coefficient de maturité le plus élevé de 14.70 est observé pour le traitement 3, suivi par le traitement 2, est ensuite par le traitement 5et 6. Par contre le coefficient de maturité le plus faible (13.5) est enregistré pour le traitement 4. D'après les résultats trouvés, on peut conclure que la dose de traitement 3 a permis de donner de bon coefficient de maturité supérieure à celui observé chez le témoin. Le traitement 4 à un taux d'acidité élevé ce qui explique le faible coefficient de maturité. L'analyse de la variance n'a révélé aucune différence significative concernant l'effet de dose sur le coefficient de maturité.

6.2 Effet sur le rendement

Les agrumes ont besoin d'un programme de nutrition équilibré formule pour satisfaire les besoins spécifiques de rendement prévu et le rendement de la qualité des fruits. La non maîtrise des techniques de fertilisation et d'irrigation restent parmi les contraintes majeures chez les producteurs d'agrumes au Maroc. Tout excès d'irrigation induit des pertes en eau par percolation et en même temps un lessivage des éléments nutritifs. Par conséquent, les coûts de production et les risques de pollution de la nappe phréatique seront élevés. D'autre part, un apport déficitaire en eau met la culture en condition de stress hydrique qui aura des conséquences négatives sur le rendement et la qualité de la production.

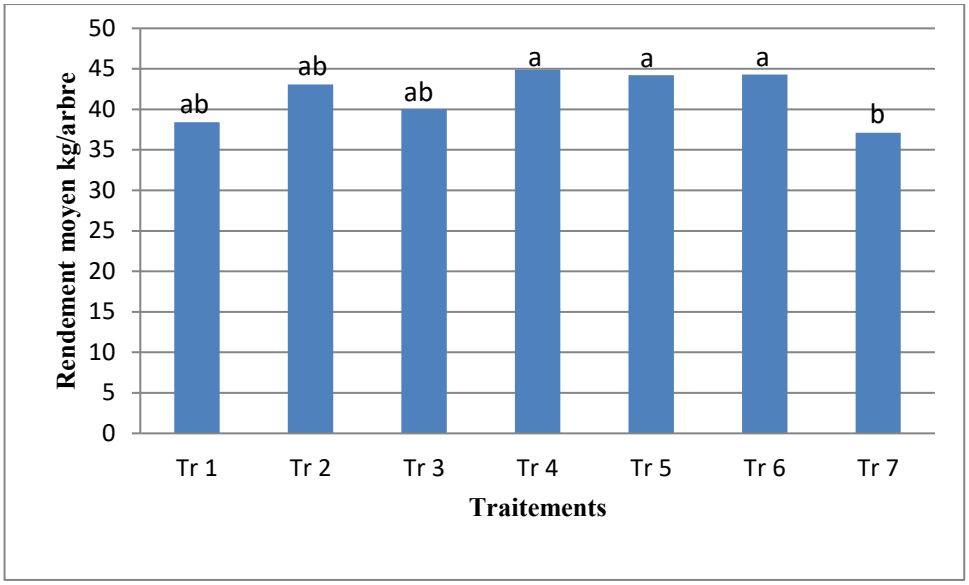


Figure 28 : Variation du rendement moyen du Clémentinier Berkane en fonction des différents traitements (Tr 7= Témoin).

D'après les résultats de la figure 28, c'est le traitement 4 qui a donné le meilleur rendement avec une valeur moyenne de 44.90 kilogrammes par arbre, suivie par les traitements Tr6, Tr5, Tr2 et Tr3. On peut conclure que la dose (3 %) de traitement 4 a permis de donner de bon rendement, les résultats de l'analyse statistique montre qu'il y'a une différence significative entre les traitements.

Conclusion

Ce travail, avant tout est un projet d'étude sur l'amélioration de la production et la qualité des agrumes qui sont classé parmi les fruits les plus consommés au Maroc. Vu les contraintes de la production aléatoire et faible des clémentines nous avons été amenés à aborder ce thème qui consiste à l'utilisation de la fertilisation foliaire potassique pour améliorer la qualité pomologique (coloration de l'écorce, calibre et le poids du fruit…), organoleptiques (teneur en sucre, acidité et teneur en jus) et l'augmentation de la production de la clémentine Berkane (*Citrus reticulata Blanco*). Les résultats de nos analyses nous amènent à tirer la conclusion pratique suivante.

Sur la base des critères de qualité :

Pour le premier paramètre étudié la qualité externe (coloration, calibre, poids du fruit), les résultats relatifs obtenus ont montré un effet non significative concernant l'effet de la fertilisation foliaire potassique, Par contre le deuxième paramètre : la qualité interne, les résultats relatifs obtenus ont montré une augmentation significative de la teneur en sucre pour le traitement T3 suivi par les traitements T2, T4 et T5, mais la fertilisation foliaire potassique n'a pas eu d'effet significatif ni sur la teneur en jus ni sur l'acidité des fruits de clémentinier 'Berkane'.

Sur la base du critère de rendement, nous pouvons conclure que l'ensemble des traitements ont montré une augmentation significative de rendement, avec un meilleur rendement théorique pour le traitement 4 (44.90 kilogrammes par arbre).

Références bibliographiques

Adjdir Z. et Bensnouci A., 2009 - Bilan d'une Agrumeraie, cas de la ferme pilote MoussadekAbdalkader (Remchi Wilaya de Tlemcen). Mémoire d'ingénieur, Univ. Tlemcen, 81 p.

Aïssa A.D.et Mhiri A., 2002.« La fertilisation phospho-potassique des céréales conduites en intensif en Tunisie », *Cahiers Agriculture,* Vol. Il, n° 6.

Agusti, M. 2003. Citricultura. EdicionesMundi-Prensa, Madrid. 422 p.

Anonyme, (1998). Les agrumes. Bureau des Ressources Génétiques, plate-forme espèces tropicales et méditerranéennes.

Anonyme, 1954. La mise à fruitsdu clémentine par incision annulaire. Service de l'horticulture, N 14, Rabat.

Anonyme, 2000. La production marocaine d'agrume de 1982-83 à 1999-2000, Vol. l : données chiffrées. Ed. SASMA, septembre 2000. Maroc.

Anonyme, 2002. Secteur des agrumes, bilan de la campagne2001-2002. Rapport de la division d'horticulture, Direction de la Production Végétale, Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural est des Pêches Maritimes, Rabat.

Anonyme, 2003 Les engrais et leurs applications. Précis à l'usage des agents de vulgarisation agricole. 04^{eme}éd. FAO, IFA et IMPHOS. Rabat. 77 p.

Anonyme, (2006). Distribution map of Quarantinepests for Europe Phaeoramulariaangolensis. *EPPO*.

Anonyme, 2005. Orientation pour la réalisation des tests objectifs visant à détermination la qualité interne des fruits et légumes frais et secs et séchés. Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE).

Anonyme, 2010. Etablissement Autonome De Contrôle et de Coordination Des Exportations (EACCE). Revue Trimestrielle Campagne 2010-2011 N 30.

Anonyme. 2012. Conseil scientifique de l'Observatoire économique de l'achat public (OEAP). Guide de l'achat public de fruits, légumes et pommes de terre à l'état frais.

Anonyme, 2017. Les carences des agrumes, Agriculture du Maghreb plateformes leader de commercialisation, transport et logistique de fruit et légumes, juin 2017.

Arias R ; Lee T ; Logendar et harry J. 2000. Correlation of lycopene Meausured by HPLC with the L*,a*,b* Color Readings of a Hydroponic Tomato and the Relationship of maturity with Color and lycopene Content,Journal of agricultural and Food Chemistry, vol. 48, PP. 1697- 1702.

Bain J. M. (1958). Morphological, anatomical, and physiological changes in the developing fruit of the Valencia orange, *Citrussinensis* (L) Osbeck. Australian Journal of Botany, 6, 1, pp. 1-23.

Bliefert C., et Perraud R., 1997. Chimie de l'environnement : Air, Eau, Sols, Déchets. 1ère éd. Espagne. 477p.

Brebion G., Carcout T., Marc Rauphie J.C., (1999). L'histoire des agrumes. Ed S.E.V.E , Service des Espaces Verts et de l'Environnement.

Bruneton J., (1999). Pharmacognosie, Phytochimie–Plantes médicinales–3ème Ed Techniques et documentations, 227-310.

Chegrani-Conan, C. (2009) Les agrumes : citron, orange, pamplemousse... Anagramme.,Paris: Anagramme.

Cnabio., 2013. Norme Burkinabé en agriculture biologique. 42 p.

Coulter J. K., 1972. Soils of Malaysia, a Review of Investigations on their fertility andManagement.Soils and Fertilizers. vol. 3. pp. 475-498.

Davies et Albrigo, 1994. Citrus Corps production in horticulture CAB international 2, p 201-206.

Demarly et Sibi, 1996. Amélioration des plantes et biotechnologie. Ed JOHN LIBBEY, EUROTEXT Paris. P151.

Deng Z.N., Gentile A., Nicolosi E., Continella G., &Tribulato E., (1996). Parentage determination of some citrus hybrids by molecular markers.In Proc Int Soc Citricul, (2): 849-854.

De-Rocca-Sierra, &Ollitrault, P. (1992). Les ressources génétiques chez les agrumes. Le courrier de l'environnement de l'INRA.

Deshpande, **R.R.; Shaw, S.S.; Shrivastav, R.C**.; **Mandloi, K.C. (1988)**.Relative toxicity of pesticides.

Diehl J A ; 1975- Agriculture générale pp 205-211.

Duan, H. R., Ma, Q., Zhang, J. L., Hu, J., Bao, A. K., Wei, L., et al. (2015). The inward-rectifying K^+ channel SsAKT1 is a candidate involved in K^+ uptake in the halophyte *Suaeda salsa* under saline condition. *Plant Soil* 395, 173–187. doi: 10.1007/s11104-015-2539-9.

El Otmani et Ait Oubahou, 1998, Nouveaux acquis de la recherche en agrumiculture. Inst. Agronomique Vétérinaire Hassan II, Agadir, Morocco.

Esclapon D. R., 1975 - Les agrumes. Ed. La Somivac, Corse, n° 68, 12 p.

Flowers, T. J. (1999). Salinisation and horticultural production.*Sci. Hortic.* 78, 1–4. doi: 10.1016/S0304-4238(98)00188-5.

Gachon ; 1969- La fertilisation phosphatée panorama des recherches récents bon choix,perspective agricoles N°28 Septembre pp 44 – 49.

GervyP; 1970- Les phosphates et l'agriculture. Edition DUNOD, paris, 298p.

Groppo, M., Pirani, J.R., Salatino, M.L.F., Blanco, S.R. and Kallunki, J.A. (2008). Webber, and L. Batchelor, eds. *The citrus industry*. Berkeley, CA: University of California, pp. 190–430.

Handaji N, AitHaddou M, Ben Azouz A, Kabbage T, Srairi I, Arsalane N, Ben Yahia H, Essagide A, Gaboun F,2007. Caractérisation et comportement de 35 variants d'agrumes dans la région de Souss Massa. Al Awamia ; 121-122: 110-134.

Henintsoa M. (2013). Disponibilité et dynamique du carbone, de l'azote et du phosphoresous association culturale Riz-Haricot soumise à différents types de fertilisation phosphatée apportée à dose croissante. Département des eaux et forêts, Université D'Antananarivo école supérieure des sciences Agronomiques, 71p.

Horie, T., and Schroeder, J. I. (2004).Sodium transporters in plants.Diverse genes and physiological functions.*Plant Physiol.* 136, 2457–2462. doi: 10.1104/pp.104.046664.

IFV., 2010. Fertilisation de la vigne : La réglementation (Fiche technique). Institut Français de la Vigne et du Vin. 7 p.

Iglesias D. J., Cercós M., Colmenero-Flores J. M., et al.(2007), Physiology of citrus fruiting. Brazilian Journal of Plant Physiology, 19, 4, pp. 333-362.

Jacquemond, C., Curk, F. and Heuzet, M. **(2013)** Les clémentiniers et autres petits 244 agrumes Quae., Versailles:Quae.Köhler, F.E.(1887)**Medicinal plants, Gera: Gustav Pabst.**

Japan.

Kaushal S, Rana R, Kumar S and Kumar R. 2014. Foliar Feeding of Plant Nutrients. Department of Agronomy, Forages and Grassland Management, CSK Himachal Pradesh Agricultural University, Palampur-176 062, Himachal Pradesh, IndiaVolume -2, Issue-2 (April-June), 2014, 81 p.

Kharroubi A. 2018. La clémentine de Berkane, la grande victime. Edition n° 5414

Koch K. E., Jones P. H., Avigne W. T., et al.(1986),Growth, dry matter partitioning, and diurnal activities of RuBP carboxylase in citrus seedlings maintained at two levels of CO2. PhysiologiaPlantarum, 67, 3, pp. 477-484.

Ladanyia M.(2008). Citrus fruit: biology, technology and evaluation. Academicpress, 542 p.

Loeillet,2010. Les marchés mondiaux. "La renaissance du Palais d'été". Paris : Economica. 421-424 (Cyclope).

Lopez Camelo, A.F.; Gomez, P.A.; CACACE, J.E. Modelo para describir los cambios de color en tomate (cv. Tommy) durante la poscosecha. In:CongesoArgentino de Horticultura, 18, 1995. Termas de Río Hondo, Argentina. Resúmenes, ASAHO, p.212.

Loussert R.,(1987). Les agrumes collection techniques agricoles méditerranéennes, 158.

Loussert R., 1989 - Les agrumes–arboriculture. Ed. Technique agricoles méditerranéennes, Paris, 113 p.

Luro, F., Curk, F., Ollitrault, P., Morillon, R., &Hussain, S.,(2011). Facultative apomixis and chromosome doubling are sources of heterogeneity in citrus rootstock trials: Impact on clementine production and breeding selection. ScientiaHorticulturae, 130(4): 815-819.

Mazoyer M., 2002 Larousse agricole. Montréal (Québec). Larousse. 767 p.

Mhiri A., 2002. Le potassium dans les sols de Tunisie, Atelier sur la gestion de la fertilité potassique, acquis et perspectives de la recherche. Institut National Agronomique de Tunisie, 13 p.

RICHARD H. ; 1990- Productivité de la terre fertilisation et rentabilité 1 vol 335 page flemmerions paris.

Millind S.L., (2008). Citrus Fruit: biology, technology and evaluation. Elsevier USA, (1): 103-121.

MoughliL, 2000. Lesengrais minéraux, caractéristique et utilisation, Transfert des technologies enagriculture. Editionn°72, 4p.

Nadori E. B, 1983. Evolution du tableau des variétés et organisationde la recherch dans l'agrumiculture au Maroc, pp 63-72 inProc. Atti Del ConvegnoInternazionale. Paterno., Italie, 22-23 Février 1983.

Omielan, J. A., Epstein, E., and Dvořák, J. (1991). Salt tolerance and ionic relations of wheat as affected by individual chromosomes of salt-tolerant *Lophopyrumelongatum.Genome* 34, 961–974. doi: 10.1139/g91-149.

Perrot E., (1971). Matières Premières usuelles du RégneVegétal, 1943. In: The biology and chemistry of the Umbelliferae, 385-412.

Phylogeny of Rutaceae based on twononcoding regions from cpDNA. *Am. J. Bot.*, **95**, 985–1005.

Praloran, J. C. **(1971).** *Les agrumes. Techniques agricoles et productions tropicales*. G.-P Maisonneuve et Larose (Ed.). Paris.

Prinsloo J. A. (2007). Ecophysiological responses of citrus trees and sugar accumulation of fruit in response to altered plant water relations. pp. 92. Stellenbosch: University of Stellenbosch.

Ramful D., Bahorun T., Bourdon E., Tarnus E., &Aruoma O.I., **(2010).** Bioactive phenolics and antioxidant propensity of flavedo extracts of Mauritian citrus fruits: potential prophylactic ingredients for functional foods application. Toxicology, 278(1): 75-87.

Sanchez E., Muñoz E., AnchondoÁ., Ruiz J.M., Romero L., 2009. Nitrogen impact on nutritional status of Phosphorus and its main bioindicator: response in the roots and leaves of green be an plants. RevistaChapingo. *Seriehorticultura*, 15(2) : 177-182.

Saouli N. (2016). Contribution à l'étude de l'effet de quelques engrais sur la disponibilité du phosphore dans les sols calcaires Touggourt. Département des Sciences Agronomiques, Université de Ouargla Algérie, 45p.

Schvartz C, Muller JC et DecrouxJ: 2005. Guide de la fertilisation raisonnée : Grandes cultures et prairies. Editions France Agricole.

Scora, R. W.(1988). Biochemistry, taxonomy and evolution of modern cultivated citrus. *Paper* presented at the VIth International Citrus Congress.

Sinha N., Sidhu J., Barta J., et al. **(2012).** Handbook of fruits and fruit processing.John Wiley& Sons, 57 p.

Soltner D., 2003. Les bases de la production végétale. Tome I. Le sol et son amélioration. Collection Sciences et Techniques Agricoles.23ème. Paris. 472p

Spiegel-Roy, P., & Goldschmidt, E. E. (Eds.), (1996). Biology of citrus.

Swingle W.T., 1948 – Citrus industry chap IV (the botany of Citrus and its wild relatives of the orange Subafamily). Univ. of California Press, Berkeley and Los Angeles, 605 p.

Swingle, W. and Reece, P. (1967). The botany of Citrus and its wild relatives. In W. Reuther,

Tanaka T., 1961. Citrologia: semi centennialcommemorationpaters on citrus studies. Osaka

UNIFA., 2005 – Principaux éléments fertilisants 6 p. Ed. Le Diamant. France.

Unifa, 2006. Bien nourrir les plantes mieux nourrir les hommes. Bulletin N° 15, 22 semestres*2006.* [en ligne]. Disponible sur le*«http. www.uni(afi/OI_aclUct/fichiers/lettre 15. pdf»*VanVolkcnburgh E, 1999. Leaf expansion an integraling plant bcbavior. Plant, Cel!

VAN DER ZAAG D.E. and MEIJERS; C.P., 1980. - Blackspot, practical aspects. 4th Triennial Conference of the European Association for Potato Research. Brest 8-13 September 1969. Proceedings, 93-103.

Van-Ee, S. (2005). La culture fruitière dans les zones tropicales. Wageningen.

Vierling E., (1998) : Aliments et boissons : Technologies et aspects réglementaires, Ed. doin, 188 pages.

Walali-Loudyi, D. E. M., Skiredji, A., & Hassan, E. (2003). Fiches techniques : le bananier, la vigne, les agrumes. In T. d. t. e. agriculture (Ed.). Rabat : Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II.

Wardowski W. F., Nagy S., Grierson W. (1986). Fresh citrus fruits. Avi Publishing Company, Inc., 571 p.

Yan, K., Shao, H., Shao, C., Chen, P., Zhao, S., Brestic, M., et al. (2013). Physiological adaptive mechanisms of plants grown in saline soil and implications for sustainable saline agriculture in coastal zone.*Acta Physiol. Plant.* 35, 2867–2878. doi: 10.1007/s11738-013-1325.

Zaouiet. J(2010) -formation nationale sur la culture d'agrumes.

Zodom G., 2012. Evaluationde la performance du riz oryzaesativa à différentes doses d'engrais chimiques et organiques sur sol sablonneux au centre du Bénin (Rapport de fin de stage, Licence professionnel). Bénin. 42 p.