

République Algérienne Démocratique Et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE de TLEMCEEN

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers



Département : Biologie

Spécialité : GENETIQUE

Mémoire fin d'étude

Présenté par

HANTAOU Nedjma ET KADOUCI Salima

*En vue de l'obtention du diplôme inscrit dans le cadre du décret ministériel n°1275
du projet innovant : PME et diplôme de Master Académique*

Thème :

***L'oranger «**Citrus sinensis.L**» dans certaines régions
de l'ouest Algérien : étude morphométrique et
phytochimique***

Soutenu le 18/12/2024, devant le jury composé de



Qualité	Nom	Grade	Université
Président :	GAOUAR Samir Bachir Suheil	PROFESSEUR	UNIV- TLEMCEEN
Encadrant 01 :	SIDHOUM Mohammed	MCB	UNIV-SIDI BELABESS
Encadrant 02 :	MEKRI Meriem	MRB	CRAPC
Examineur :	MKEDDER Ikram	MRB	RUMES
Examineur I2E :	CHAOUCHE Tarik	MCA	UNIV- TLEMCEEN

2023-2024

REMERCIEMENT

À Monsieur Gaouar

Nous tenons à vous exprimer notre profonde gratitude pour votre soutien et votre guidance au cours de ces trois dernières années. Vous avez été bien plus qu'un enseignant : un mentor inspirant, dont la passion pour la génétique et l'expertise ont marqué notre parcours. Merci pour votre disponibilité, vos conseils précieux et votre foi en nos capacités, qui nous ont motivés à donner le meilleur de nous-mêmes. Votre soutien indéfectible a été essentiel à notre réussite, et nous garderons un souvenir inestimable de votre enseignement.

****À Monsieur Sidhoum****

Nous vous exprimons notre sincère gratitude pour votre encadrement précieux. Votre expertise en morphométrie a été essentielle à la réussite de notre travail, et vos conseils ont facilité chaque étape de notre méthodologie. Votre soutien a également été crucial pour la transition vers la partie phytochimique, grâce aux contacts et ressources que vous nous avez fournis. Merci pour votre engagement et votre aide précieuse, qui ont grandement contribué à notre progression et à cette réussite.

****À Madame Mekri****

Nous vous remercions profondément pour votre encadrement bienveillant et votre soutien généreux lors de la partie phytochimique de notre étude. Votre disponibilité, vos conseils avisés et vos attentions, comme nous accompagner au centre de recherche et veiller à notre bien-être, ont été essentiels pour nous aider à progresser et gagner en confiance dans ce domaine. Grâce à vous, cette expérience a été enrichissante et formatrice. Merci pour votre engagement et votre dévouement.

****À Monsieur Dergel****

Nous vous exprimons notre sincère gratitude pour la formation que vous nous avez donnée sur l'extraction des huiles essentielles pendant le mois de Ramadan. Votre expertise et disponibilité nous ont permis d'approfondir nos connaissances et compétences. Grâce à votre passion et à vos explications claires, nous avons acquis des compétences précieuses pour notre carrière. Merci pour votre soutien et votre engagement.

"Madame Mkedder,"

Nous vous remercions sincèrement pour votre soutien, vos conseils précieux, et votre disponibilité tout au long de notre étude. Votre expertise, notamment en échantillonnage et en méthode de mesure morphologique, ainsi que votre aide dans la communication avec les agriculteurs, ont été inestimables. Nous sommes profondément reconnaissants pour votre dévouement et votre accompagnement.

***"Monsieur Ghat,*"**

Nous vous exprimons notre profonde gratitude pour votre aide précieuse tout au long de notre étude. Votre soutien, notamment dans la mise en relation avec les agriculteurs et le partage des contacts nécessaires, a été essentiel pour recueillir des données significatives et mieux comprendre les pratiques agricoles. Votre contribution a enrichi notre travail, et nous vous en sommes sincèrement reconnaissants.

*** à Monsieur Mediouni Reda ***

Nous remercions chaleureusement Monsieur Mediouni Reda pour son soutien exceptionnel dans la réalisation de la partie statistique de notre recherche. Son expertise, ses conseils clairs et sa disponibilité nous ont permis de surmonter les défis techniques et de mieux comprendre les outils d'analyse des données. Nous lui sommes reconnaissants pour son soutien et sa générosité intellectuelle.

*** à Monsieur Haddam hadi***

Nous remercions sincèrement Monsieur HADDAM Youssouf pour son soutien précieux dans la partie statistique de notre recherche. Sa patience et sa pédagogie nous ont permis de maîtriser les concepts nécessaires à l'analyse des données, et ses encouragements nous ont motivés à aller de l'avant.

DÉDICACE

À mes chers parents,

Avec une immense gratitude et un profond respect, je remercie mes parents pour leur soutien inestimable tout au long de ce parcours. Papa, ton dévouement, tes efforts inlassables et ton soutien financier ont été essentiels. Tu m'as accompagné sans relâche, même tard dans la nuit, pour m'aider à réaliser cette étude, toujours avec patience et sans jamais te plaindre. Maman, ton amour, tes prières constantes et ton soutien indéfectible ont été mes piliers. Tu m'as offert un foyer apaisant et des encouragements précieux, me permettant de persévérer malgré les difficultés. Cette réussite est le fruit de vos sacrifices et de votre amour infini. Merci pour tout.

"À ma sœur et à mes deux frères,

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers ma famille, qui a été une source précieuse de motivation et de joie tout au long de ce parcours. ****Chaima****, ta sagesse et ton enthousiasme m'ont guidé dans les moments de doute. Tes mots justes et nos discussions éclairantes ont été d'un grand soutien. ****Mouhamed El Amine**** et ****Salah Eddin****, votre énergie, vos blagues et votre soutien indéfectible ont apporté légèreté et bonheur à chaque étape. Vous m'avez rappelé l'importance de la famille et du rire, même dans les moments les plus sérieux. Ensemble, nous avons partagé des rires, des larmes et des souvenirs inoubliables. Cette réussite est aussi la vôtre. Merci pour tout votre amour et votre soutien.

"À mes chères grands-mères,

Je dédie ces mots à mes chères grands-mères en ce jour si spécial. ****Grand-mère Rabha****, ta foi, tes prières et ta sagesse ont été un soutien précieux dans les moments de doute. Tes conseils avisés m'ont guidé, et ton amour inconditionnel reste un trésor inestimable. ****Grand-mère Rahma****, ta bienveillance et tes paroles réconfortantes m'ont inspiré à persévérer, même face aux défis. Tes douaa m'accompagnent chaque jour et me donnent la force d'avancer avec confiance. Votre amour et vos prières sont à la base de cette réussite. Je vous remercie profondément pour tout ce que vous m'avez transmis et vous porte dans mon cœur à chaque instant. Cette soutenance est un hommage à votre amour et à vos sacrifices. Je vous aime infiniment.

À mes chers cousins et cousines,

Rachida, Hanane, Amina « Benameur », Rania, Aya, Yacine, Safia « Benarbia », Houriya, Salah, « Beldjilali », Yousra, Amine, Zouhir et Oussama « Rebbahi » : Je vous dédie ce travail avec tout mon amour et ma gratitude. Vous êtes bien plus qu'une famille : vous êtes une véritable source d'inspiration, de force et de bonheur. et c'est avec une immense fierté que je célèbre cette étape de ma vie à vos côtés., vos encouragements et nos souvenirs communs m'ont donné la motivation de persévérer. Cette dédicace est le reflet de tout l'amour et la reconnaissance que je vous porte. Avec toute mon affection.

À mes chères tantes

Nouria, Assia, Dounia « Bedjilali », Faiza et Lila « Hantaou », Naima et Fadia : Avec une immense affection et une profonde gratitude, je vous dédie ce travail. Vous avez été des piliers de soutien et des modèles d'amour, de générosité et de sagesse. Vos encouragements, vos précieux conseils et votre présence constante ont illuminé mon chemin et m'ont aidé à franchir cette étape importante. Chacune de vous occupe une place spéciale dans mon cœur. Votre amour inconditionnel et votre bienveillance ont été des forces motrices dans mon parcours. Cette dédicace est une marque de respect et de reconnaissance infinie envers vous toutes. Avec tout mon respect et mon affection.

À mes chers oncles

Sidi Mouhamed, Nouri, Hakim, Youcef, Younes « Beldjilali », Mouhamed, Omar, Arbi, Moustapha, Salim, Tayeb « Hantaou » : Je vous dédie ce travail avec une profonde gratitude et respect. Votre force, vos conseils et vos prières ont été des piliers de motivation tout au long de mon parcours. Merci pour votre soutien constant et votre présence bienveillante. Cette réussite est aussi la vôtre. Avec toute mon affection.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à l'homme de ma vie, mon exemple éternel celui qui s'est toujours sacrifié et m'encourager pour me voir réussir à toi mon père que dieu te protège.

À maman la lumière de mes jours, la source de mes efforts qui m'a soutenue tout au long de ce projet.

À mes sœurs «Amina» , «Imane» et «Malek» pour l'amour qu'elles me réservent je leurs souhaite une vie pleine de bonheur et de succès

À mes cousines «Nabila» et «Fatiha» et «Souad», qui m'ont poussé vers le trajet de la réussite et n'ont pas cessé de m'encourager tout au long de cette période puisse dieu leurs accorder santé et bonheur.

À ma tante adorable « Rachida», qui a toujours été une source d'amour et de soutien pour moi. Je prie Dieu de te protéger et de t'accorder une longue et joyeuse vie .

À tous les membres de ma famille.

À mes chères amies «Riham» , «Fatima» et «Chahinez» que j'ai partagé avec eux des moments inoubliables merci d'être toujours à mes côtés et de me supporter et aider je vous aime qu'Allah vous préserve et vous exauce tous vos vœux

Sans oublier mon binôme «Nedjma» pour son assistance, sa patience et sa compréhension tout au long de la réalisation de cette étude.

Kadouci salima

TABLE DES MATIÈRES

Remerciement	
Dédicace	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Listes des figures	
<i>Introduction générale</i>	1
Introduction générale.....	2
<i>Synthèse bibliographique</i>	4
<i>Chapitre I : Généralités sur Citrus sinensis</i>	5
I.1. Historique et origine des agrumes	6
I.2. Taxonomie et Position Systématique de l'oranger	9
I.3. L'air agrumicole.....	9
I.4. La production des agrumes.....	9
I.4.1. La production d'orange dans le monde.....	10
I.4.2. La production en Algérie	12
I.5. Cycle biologique	12
I.6. Système de reproduction.....	13
I.8. La morphologie des agrumes.....	13
I.8.1. Système racinaire.....	13
I.8.2. Système aérien	16
I.7. La génétique des agrumes.....	16
I.7.1. Le génome des agrumes.....	16
I.7.2. La carte génétique des agrumes	17
I.9. Les variétés de <i>Citrus sinensis</i>	18
I.10. Principaux caractéristiques de <i>Citrus sinensis</i>	19
I.11. Principaux porte-greffe	22
I.12. Les porte-greffes conventionnelles.....	22
I.13. Exigences climatique.....	24
I.14. Ravageurs et maladies de <i>Citrus sinensis</i>	27
<i>Chapitre II : Généralités sur phytochimie</i>	27
II.1. La composition chimique	29

II.2. Les composés bioactifs	29
II.2.1. Les huiles essentielles	29
II.2.1.1. Définition	29
II.2.1.2. Localisation	29
II.2.1.3. La composition	30
II.2.1.4. La conservation	30
II.2.1.5. Facteurs influencent la compositions chimique des huiles essentielles	31
II.2.1.6. Méthodes d'extractions	31
II.2.2. Les polyphénols	32
II.2.2.1. Définition	32
II.2.2.2. Les polyphénols dans les agrumes	33
II.2.2.3. Rôles et intérêts	35
II.2.3. Les caroténoïdes	37
II.2.3.1. Définition	37
II.2.3.2. Classification	37
II.2.3.3. Propriétés thérapeutique	38
II.2.4. Les pectines	39
II.2.4.1. Définition	39
II.2.4.2. La structure	39
II.2.4.3. Propriétés	39
<i>Matériel et méthodes</i>	41
<i>L'étude morphométrique</i>	42
1. Zone d'étude	43
2. matériel végétale	48
3. Préparation de matériel végétale	51
4. Les caractères morphologique	53
<i>L'étude phytochimique</i>	57
1. Mesure d'acidité du jus d'orange douce	58
2. Extraction des huiles essentielles du zeste d'orange douce	58
3. Mesure d'indice d'acide des huiles essentielles	60
4. Mesure d'indice de saponification des huiles essentielles	61
5. Mesure d'indice d'ester des huiles essentielles	63
6. L'activité anti-oxydante des huiles essentielles	63

7. Identification des molécules des huiles essentielles (GC-MS)	66
8. Séchage des fruits pour extraction des polyphénols (Lyophilisation)	66
9. Extraction des polyphénols des fruits d'orange douce.....	68
10. Dosage des polyphénols totaux.....	69
11. L'activité anti-oxydante des extraits polyphénoliques	71
<i>Résultats et Discussion</i>	72
1. Statistiques descriptives	
2. Analyse en composantes principales « ACP » des fruits d'orange douce.....	
3. Analyse en composantes principales « ACP » des feuilles d'oranger douce	
4. Analyse des correspondances multiples « ACM » des variables fruits d'orange	
5. Analyses des correspondances multiples « ACM » des modalités des fruits	
6. Analyse factorielle des données mixtes »AFDM » des feuilles d'oranger doux.....	
7. Analyse des correspondances multiples « ACM » des feuilles d'oranger doux	
8. Analyse de dispersion « SCATTER PLOT » des fruits d'orange douce	
9. classification hiérarchique « DENDROGRAMME »	
10. pH de jus d'orange douce	
11. Rendement des huiles essentielles du zeste d'orange douce	
12. Propriétés organoleptiques des huiles essentielles du zeste d'orange douce	
13. Indices chimiques	
13.1.Indice d'acides des huiles essentielle du zeste d'orange douce « IA »	
13.2.Indice d'acides des huiles essentielle du zeste d'orange douce « IA »	
13.3.Indice de saponification des huiles essentielles du zeste d'orange douce « IS »	
13.4.Indice d'ester des huiles essentielles du zeste d'orange douce « IE »	
13.5.Identification des molécules des huiles essentielles « GC-MS »	
14. L'activité anti-oxydantes des huiles essentielles d'orange douce	
15. Dosage des polyphénols des extraits des fruits d'orange douce	
16. L'activité anti-oxydante des extraits polyphénolique des fruits d'orange douce	
• Conclusion.....	72
• Résumé.....	76
• ملخص.....	77
• Summary	78
• Références.....	79
• ANNEXES.....	
• BMC- PROJET 1275.....	

LISTE DES ABREVIATIONS

<i>AFNOR</i>	<i>Association Française de Normalisation</i>
<i>AGL</i>	<i>les acides gras libres</i>
<i>AR</i>	<i>Arbre</i>
<i>BSk</i>	<i>B : climats secs ou arides, S : climat semi-aride, K : températures sont froides</i>
<i>Cm</i>	<i>Centimètre</i>
<i>Csa</i>	<i>C : Climats tempérés, S : Été sec, a : Été chaud</i>
<i>D</i>	<i>Diamètre</i>
<i>DPPH</i>	<i>2-2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl</i>
<i>F</i>	<i>Fruit</i>
<i>GHI</i>	<u><i>RELIZANE</i></u>
<i>GC</i>	<i>Gas Chromatography</i>
<i>GAE</i>	<i>équivalent acide gallique</i>
<i>HE</i>	<i>Huiles Essentielles</i>
<i>HEs</i>	<i>huiles essentielles</i>
<i>IPGRI</i>	<i>L'Institut international des ressources phytogénétiques</i>
<i>K2O</i>	<i>Oxyde Potassium</i>
<i>KOH</i>	<i>hydroxyde de potassium</i>
<i>L</i>	<i>Litre</i>
<i>L</i>	<i>longueur</i>
<i>M</i>	<i>Mètre</i>
<i>M</i>	<i>la masse</i>
<i>ml</i>	<i>Millilitres</i>
<i>Mg</i>	<i>Milligram</i>
<i>MS</i>	<i>Masse spectrometry</i>
<i>MSC</i>	<u><i>MASCARA</i></u>
<i>MGH</i>	<u><i>MAGHNIYA</i></u>
<i>N</i>	<i>Normalité</i>
<i>NPK</i>	<i>Nitrogen phosphorus Potassium</i>

<i>NED</i>	<i><u>NEDROMA</u></i>
<i>NaOH</i>	<i>Sodium Hydroxide</i>
<i>OR</i>	<i>Oran</i>
<i>P2O5</i>	<i>Phosphorus pentoxide</i>
<i>Ph</i>	<i>Potentiel hydrogène</i>
<i>PHE</i>	<i>poids dehuiles essentielles</i>
<i>Pmv</i>	<i>poids du matériel végétal</i>
<i>PPT</i>	<i>polyphénols totaux</i>
<i>R</i>	<i>Rendement</i>
<i>S</i>	<i>Site</i>
<i>TL</i>	<i>Tlemcen</i>
<i>UPOV</i>	<i>Union Internationale pour la Protection des Obtentions Végétales</i>
<i>Mm</i>	<i>Micromolaire</i>
<i>µg</i>	<i>Microgramme</i>
<i>µl</i>	<i>Microlitre</i>

LISTE DES TABLEAUX

<u>TABLEAU</u>	<u>TITRE</u>	<u>PAGE</u>
Tableau 1	Cycle biologique de l'oranger source	24
Tableau 2	Principales variétés d'orange	30
Tableau 3	principaux caractères de l'oranger	30
Tableau 4	principaux porte-greffe d'oranger	31
Tableau 5	Exigences pédoclimatiques des agrumes source	33
Tableau 6	les ravageurs et maladies de l'oranger source	33
Tableau 7	la composition chimique d'oranger douce	38
Tableau 8	classification des caroténoïdes en fonction de leurs structures	47
Tableau 9	informations sur l'exploitation S1 TL HENNAYA	53
Tableau 10	informations sur l'exploitation S2 TL REMCHI	53
Tableau 11	informations sur l'exploitation S1 OR MISSEGRGHIN	54
Tableau 12	informations sur l'exploitation S1 GHI OUAD EL DJAMAA	54
Tableau 13	informations sur l'exploitation S1 MSC BOU HENNI	55
Tableau 14	informations sur l'exploitation S3 MAGHNIYA 1	55
Tableau 15	informations sur l'exploitation S4 NEDROMA	56
Tableau 16	informations sur l'exploitation S5 MAGHNIYA 2	56
Tableau 17	informations sur l'exploitation S6 MAGHNIYA 3	57
Tableau 18	informations sur l'exploitation S7 OULED SLIMEN	57
Tableau 19	les caractères quantitatifs (source IPGRI , UPOV)	64
Tableau 20	les caractères qualitatifs (source IPGRI, UPOV)	64
Tableau 21	Les statistiques descriptives des échantillons des fruits d'orange douce	82
Tableau 22	Les statistiques descriptives des poids des fruits	83
Tableau 23	Les statistiques descriptives des diamètres des fruits	84
Tableau 24	Les statistiques descriptives des longueurs des fruits	85
Tableau 25	Les statistiques descriptives des rapports L/D	85
Tableau 26	Les statistiques descriptives des épaisseurs des écorces des fruits	86
Tableau 27	Les statistiques descriptives des nombres des quartiers des fruits	87
Tableau 28	Les pourcentages des rendements des huiles essentielles d'orange douce	102

Tableau29	Propriétés organoleptiques	105
Tableau30	Les valeurs d'indice d'acide des huiles essentielles	105
Tableau31	Les valeurs d'indice de saponification des huiles essentielles	108
Tableau32	Les valeurs d'indice d'ester des huiles essentielles	110
Tableau33	Les molécules des huiles essentielle « GC-MS »	112
Tableau34	Les tenures en polyphénols	119

LISTE DES FIGURES

FIGURES	Titre	PAGE
Figure 01	Origine et aire de répartition des agrumes	18
Figure 02	Aire de répartition d'origine des agrumes	19
Figure 03	Origine des formes cultivées d'agrumes	19
Figure 04	Taxonomie de l'oranger	20
Figure 05	données détaillées de production pour certains des principaux pays producteurs d'oranges.	21
Figure 06	surfaces de la production des agrumes en algérie en 2024	22
Figure 07	Morphologie et taille de tronc et branches de l'oranger	26
Figure 08	feuille de l'oranger	26
Figure 09	fleure d'oranger	27
Figure 10	coupe transversale d'une orange	27
Figure 11	Localisation des huiles essentielles, Poche sécrétrice	38
Figure 12	Structure de R-Limonène et S-Limonène	39
Figure 13	Modes d'extraction des huiles essentielles	40
Figure 14	Structures chimiques de certains flavonols	43
Figure 15	Structure chimique de la (+)-catéchine	43
Figure 16	Structure chimique de la (-)-épi-catéchine	43
Figure 17	Structure chimique de la malvidine	44
Figure 18	Structure chimique de la cyanidine	44
Figure 19	Structure chimique de quelques flavanones	44
Figure 20	Structure du β -carotène	48
Figure 21	Structure de la pectine	48
Figure 22	la zone d'étude indiquant les 4 wilayas de travail	57
Figure 23	cisaille à saute pour la récolte d'échantillon	57
Figure 24	Arbre d'oranger doux au moment de l'échantillonnage	58
Figure 25	exemple de la stratégie de choix des arbres à échantillonné	58
Figure 26	les sacs en plastique utilisé pour l'échantillonnage des fruits	59
Figure 27	les sacs en papier utilisé pour l'échantillonnage des feuilles	59
Figure 28	système de codage	59
Figure 29	le codage individuel des fruits	60
Figure 30	balance utilisé pour le pesage des fruits	60

Figure 31	zeste d'orange conservé dans des sacs en plastique stérile	61
Figure 32	fruits d'orange conservé pour l'extraction des polyphénols	61
Figure 33	fruits prélevé pour les mesures d'acidité du jus d'orange	62
Figure 34	pied de coulisse utilisé pour les mesures	62
Figure 35	règle gradué utilisé pour les mesures	62
Figure 36	détermination de l'acidité de jus d'orange douce par Ph mètre	66
Figure 37	appareil CLEVENGER utilisé pour l'extraction d'huile essentielle	67
Figure 38	les 10 échantillons des huiles essentielles	68
Figure 39	mesure da l'indice d'acide des huiles	68
Figure 40	la réaction de saponification des huiles	69
Figure 41	mesure d'indice de saponification	70
Figure 42	solution de DPPH	71
Figure 43	la gamme des dilutions « pour l'huile et la vitamine C »	72
Figure 44	solution de DPPH	73
Figure 43	la gamme des dilutions « pour l'huile et la vitamine C »	72
Figure 44	incubation du mélange réactionnelle	73
Figure 45	le mélange après 1h	73
Figure 46	mesure d'absorbance	74
Figure 47	préparation des fruits pour lyophilisation	74
Figure 48	appareil lyophilisateur utilisé	76
Figure 49	broyage des fruits se	76
Figure 50	extraction des polyphénols par ultrason	77
Figure 51	filtrage des extraits	77
Figure 52	stockage des extraits des polyphénols	78
Figure 53	incubation du mélange réactionnelle	78
Figure 54	le dosage des polyphénols totaux	79
Figure 55	l'activité anti-oxydante des extraits polyphénolique	80
Figure 56	Analyse en composantes principales « ACP » fruits	88
Figure 57	Analyse en composantes principales « ACP » feuilles	89
Figure 58	Analyse des correspondances multiples « ACM » des variables des fruits	91
Figure 59	Analyse des correspondances multiples « ACM » des modalités des fruits	92

Figure 60	Analyse factorielle des données mixtes « AFDM » feuilles	94
Figure 61	Analyse des correspondances multiples « ACM » feuilles	95
Figure 62	Analyse de dispersion « SCATTER PLOT »	97
Figure 63	Classification hiérarchique	98
Figure 64	Histogramme des pH du jus d'orange douce	101
Figure 65	L'huile essentielle du zeste d'orange douce	103
Figure 66	Histogramme des rendements des huiles essentielles	104
Figure 67	Histogramme des valeurs d'indice d'acide	107
Figure 68	Histogramme des valeurs d'indice de saponification	109
Figure 69	Histogramme des valeurs d'indice d'ester	110
Figure 70	Histogramme des Valeurs des CI50 d'activité anti-oxydantes des huiles essentielles	117
Figure 71	Histogramme des valeurs des CI50 d'activité anti-oxydante des extraits polyphénoliques	121

Introduction

Les agrumes, et plus particulièrement les oranges douces (*Citrus sinensis*), occupent une place cruciale dans l'économie agricole mondiale et régionale, notamment en Algérie.

Ces fruits sont largement reconnus pour leur richesse en vitamines, antioxydants et autres composés bioactifs, ce qui les rend très prisés pour leur valeur nutritionnelle. En outre, ils jouent un rôle clé dans diverses industries, telles que l'alimentation, la pharmacie et la cosmétique. **(Hegde, P., et al., 2016)**

Dans les régions de l'ouest algérien, l'oranger *Citrus sinensis* est une culture prédominante qui contribue non seulement à la sécurité alimentaire, mais aussi au développement économique des communautés locales.

La production d'oranges douces, cependant, est fortement dépendante des conditions climatiques. Le climat influence à la fois le rendement et la qualité des fruits, avec des variables comme la température, les précipitations et l'humidité relative qui peuvent affecter la composition phytochimique des fruits. Par exemple, la concentration en huiles essentielles, polyphénols et autres composés bioactifs peut varier en fonction de ces paramètres environnementaux. **(Lado, J., et al., 2018)**

De plus, les caractéristiques morphométriques des fruits, telles que leur taille, leur poids et leur forme, sont également influencées par les conditions climatiques, ce qui a un impact direct sur leur qualité commerciale. **(Agustí, M., et al., 2010)**

Les changements climatiques des dernières décennies ont introduit de nouveaux défis pour la production d'agrumes en Algérie. La diminution des précipitations, couplée à une hausse des températures, perturbe la croissance des orangers et réduit la qualité des fruits, entraînant une baisse notable du rendement. Le manque de pluies, en particulier, accentue les périodes de sécheresse, provoquant un stress hydrique qui affecte la floraison, la maturation des fruits et la composition chimique des oranges. Cette situation compromet non seulement la durabilité des cultures, mais également la qualité des produits, avec une réduction potentielle des composés bioactifs essentiels.

Dans ce contexte, l'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'impact des conditions agroécologiques et des pratiques agricoles sur les caractéristiques morphologiques, chimiques et bioactives des fruits de l'oranger *Citrus sinensis* variété Washington Navel.

En comparant 10 exploitations situées dans des zones agroécologiques distinctes et utilisant des pratiques culturelles variées, cette recherche vise à mieux comprendre comment ces facteurs influencent la qualité des fruits, en termes de composition biochimique et de potentiel antioxydant.

Pour répondre à cet objectif, des mesures morphologiques ont été effectuées sur les fruits et les feuilles, afin de caractériser leurs dimensions et leurs structures.

Une attention particulière a été accordée à la mesure de l'acidité du jus d'orange, un paramètre crucial pour évaluer la qualité organoleptique des fruits.

Parallèlement, l'extraction des huiles essentielles à partir des zestes d'orange a permis une analyse approfondie des composés volatils par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS). Ces analyses ont été complétées par des mesures des indices d'acide, de saponification, d'esters et de l'activité antioxydante des huiles essentielles, afin de caractériser leur qualité globale.

De plus, l'étude inclut une évaluation de l'activité antioxydante des fruits après un processus de lyophilisation, ainsi que l'extraction et le dosage des polyphénols, des composés bioactifs essentiels dans la valorisation nutritionnelle et industrielle des oranges.

Le premier chapitre de cette thèse propose une revue bibliographique détaillée, articulée en deux parties : la première aborde des informations globales et les aspects morphométriques de *Citrus sinensis*, tandis que la seconde se concentre sur ses propriétés phytochimiques.

Le second chapitre présente les matériels et méthodes utilisés dans cette étude, en détaillant l'échantillonnage, les mesures morphométriques effectuées, ainsi que les analyses phytochimiques.

Enfin, le troisième chapitre est consacré aux résultats obtenus, accompagnés d'une discussion approfondie, avant de conclure par une synthèse des conclusions principales et des perspectives futures

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude, dont l'objectif est d'analyser les caractéristiques morphométriques et phytochimiques des oranges douces cultivées dans plusieurs régions de l'ouest algérien. Cette étude comparative permettra de mieux comprendre l'impact des conditions climatiques et des pratiques agricoles sur la qualité des fruits d'oranges douces dans différentes zones agroécologiques, en vue de proposer des stratégies pour optimiser la production et la qualité des produits agricoles en fonction des conditions environnementales, tout en répondant aux défis posés par le changement climatique.

Synthèse
bibliographique

Généralités sur Citrus *sinensis*

I.1. Historique et origines des agrumes :

Selon les recherches, les agrumes trouvent leurs racines dans les pays du Sud-Est asiatique, où leur culture s'est développée en parallèle avec les civilisations anciennes de la Chine. À l'origine, ces fruits étaient prisés pour leurs arômes envoûtants avant de devenir également appréciés pour leurs délicieuses saveurs fruitées. **Praloran (1971)** souligne que l'expansion de la culture des agrumes a débuté grâce à l'influence des grandes civilisations chinoises et hindoues, se diffusant progressivement dans toute la région du Sud-Est asiatique dès le premier millénaire avant notre ère, incluant le sud du Japon et l'archipel de Malaisie. Il est probable que les premiers agrumes à être cultivés en Méditerranée remontent au VIIe siècle avant notre ère, avec les cédratiers. L'introduction du bigaradier, du pamplemoussier et du citronnier en Méditerranée est attribuée aux Maures, aux Génois et aux Portugais entre les Xe et XIIe siècles. L'expansion du commerce maritime au XVe siècle a largement contribué à la diffusion mondiale des agrumes. En 1493, Christophe Colomb, à l'occasion de son second voyage, les introduits en Haïti, à partir de laquelle la diffusion se fera vers le Mexique (1518), puis les Etats-Unis d'Amérique (1569 à 1890).

Praloran (1971)

L'oranger (orange douce) et le mandarinier n'ont été connus en Méditerranée respectivement qu'au XVe et au XVIIIe siècle, tous deux importés de Chine. La proximité de ces différentes espèces d'agrumes en Méditerranée a favorisé le développement de nouvelles variétés hybrides, comme la bergamote, le clémentinier et le cédrat corse. Des variations naturelles, y compris les variétés d'oranges sanguines, ont également émergé. Quant au pomelo (*C. paradisi*), il est apparu vers la fin du XVIIIe siècle dans les Caraïbes, résultant d'une pollinisation croisée fortuite entre un pamplemoussier et un oranger **Praloran (1971)**

En Algérie, l'introduction du bigaradier s'est produite pendant les invasions arabes dans l'empire des Almohades. Au cours de la période ottomane, du 16e au 18e siècle, cet arbre agrémentait déjà les jardins des Beys. Il est probable que l'oranger ait été importé quelques siècles plus tard par les Maures d'Andalousie. Au début de la colonisation en 1850, le mandarinier a été apporté en Algérie par M. Harby. Au XIXe siècle, le père Clément de l'orphelinat agricole de Misserghin, en croisant le mandarinier commun avec le bigaradier Granito, a découvert la clémentine **Praloran (1971)**.

Figure 1.

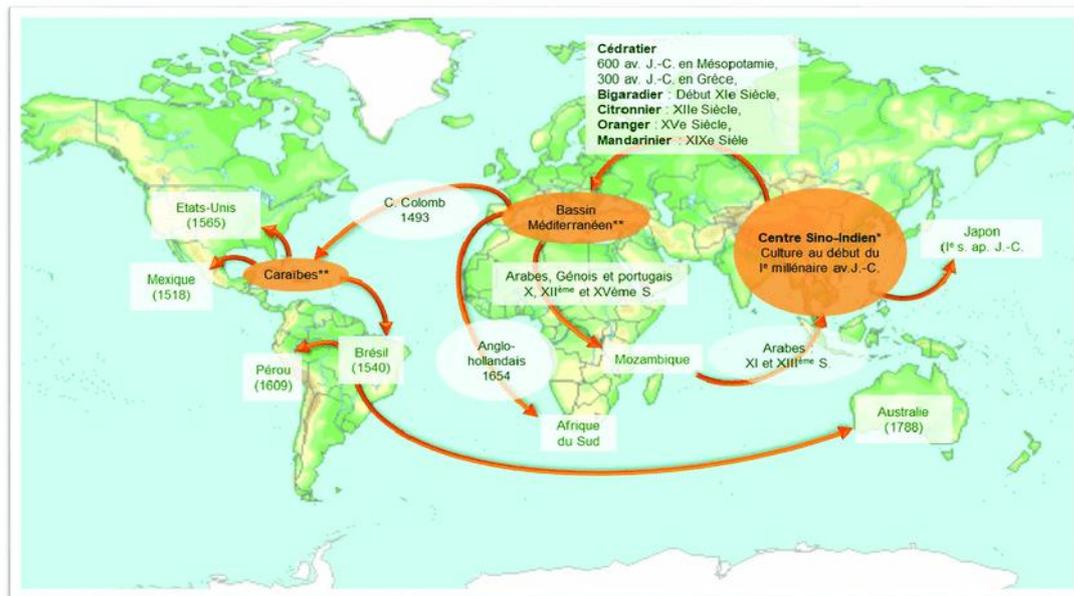


Figure 1 : Origine et aire de répartition des agrumes (d'après Praloran, 1971).

Les recherches en phylogénétique menées par **Scora (1975)** et **Barrett et Rhodes (1976)** ont mis en lumière que la richesse des agrumes est principalement organisée autour de trois espèces fondamentales : les pamplemoussiers (*C. maxima* (L.) Osb.), les mandariniers (*C. reticulata* Blanco) et les cédratiers (*C. medica* L.). Cette différenciation entre ces espèces compatibles sexuellement trouve son origine dans des événements de dispersion géographique (**pamplemoussiers** : archipel malais et Indonésie, **cédratiers** : Nord-est de l'Inde et régions voisines de Birmanie et de Chine, **mandariniers** : Vietnam, la Chine du sud et le Japon, ainsi que dans des processus d'évolution allopatrique. De récentes analyses moléculaires ont également mis en évidence l'existence d'un quatrième taxon ancestral, *C. micrantha* Wester (**Nicolosi et al., 2000**). Les autres variétés cultivées, telles que les orangers, les bigaradiers, les citronniers et les pomelos, ont émergé ultérieurement par croisements entre ces espèces de base, favorisés par les échanges commerciaux et les déplacements humains (**Ollitrault et al., 1999; Nicolosi et al., 2000**). **Figure 2.**

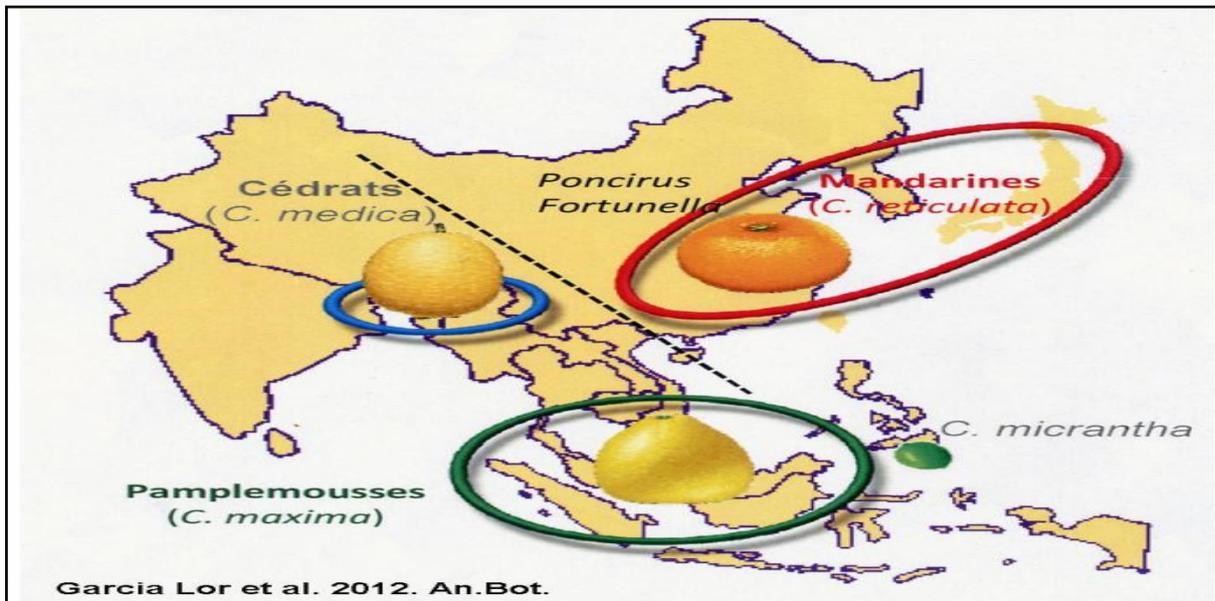


Figure 2 : Aire de répartition d'origine des agrumes (adaptée de Garcia-Lor et al, 2013)

- ✓ L'oranger commun (*Citrus sinensis*) et le bigaradier (*Citrus aurantium*) sont considérés comme les hybrides entre les pools génétiques des pamplemoussiers et des mandariniers.
- ✓ Le limettier mexicain (*Citrus aurantifolia*) résulte probablement d'une hybridation directe entre un cédratier et *C. micrantha* (un papeda).
- ✓ Les citrons (*Citrus limon*) dériveraient d'une hybridation entre un cédratier et un bigaradier.
- ✓ Le pomelo (*Citrus paradisi*) serait un hybride entre un pamplemoussier et un oranger. **figure 3.**

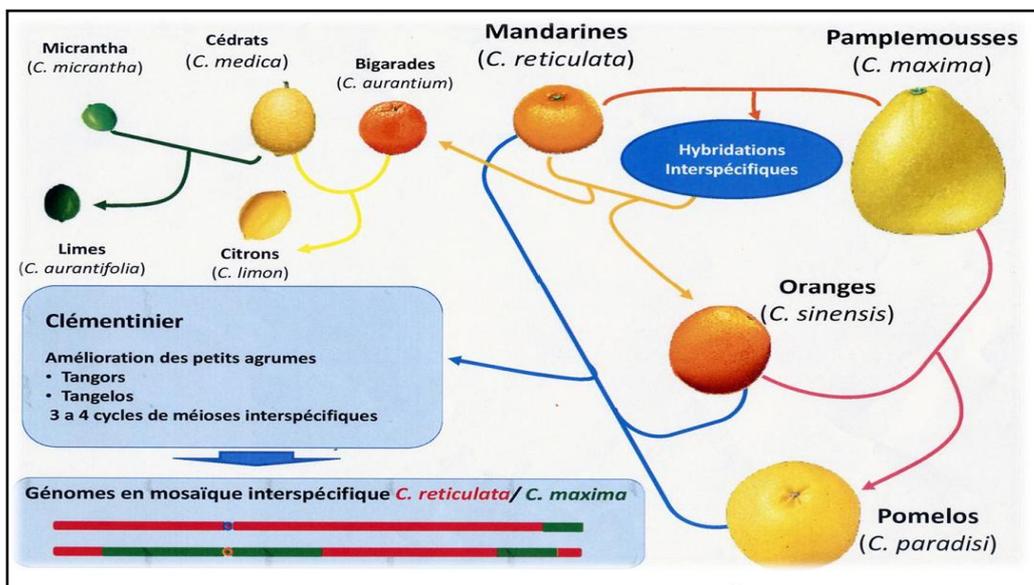


Figure 3 : Origine des formes cultivées d'agrumes (adaptée de Ollitrault et al., 2012)

I.2. Taxonomie et Position Systématique de l'oranger :



• **Figure 4** : Taxonomie de l'oranger osbeck, (1765)

I.3. L'aire agrumicole :

Les conditions climatiques déterminent où les agrumes peuvent être cultivés, s'étendant des régions tempérées chaudes aux zones tropicales. Actuellement, les agrumes sont cultivés dans le monde entier, entre l'équateur et des latitudes légèrement au-delà de 40°. Selon **Jacquemond et al. (2013)**, la culture des agrumes s'étend du Cap de Bonne-Espérance au bassin méditerranéen, de l'Argentine à la Californie, et de l'Australie au Japon. (**BOUDJEMAA-GAMAZ K, 2021**).

I.4. la production d'agrumes :

I.4.1. la production d'orange dans le monde : La production mondiale d'oranges en 2024 est estimée à environ 48,8 millions de tonnes métriques, représentant une légère hausse par rapport à l'année précédente. Les principales régions responsables de cette production incluent le Brésil, la Chine, l'Union européenne, le Mexique et l'Égypte. Voici les données détaillées de production pour certains des principaux pays producteurs d'oranges. **Figure 5**.

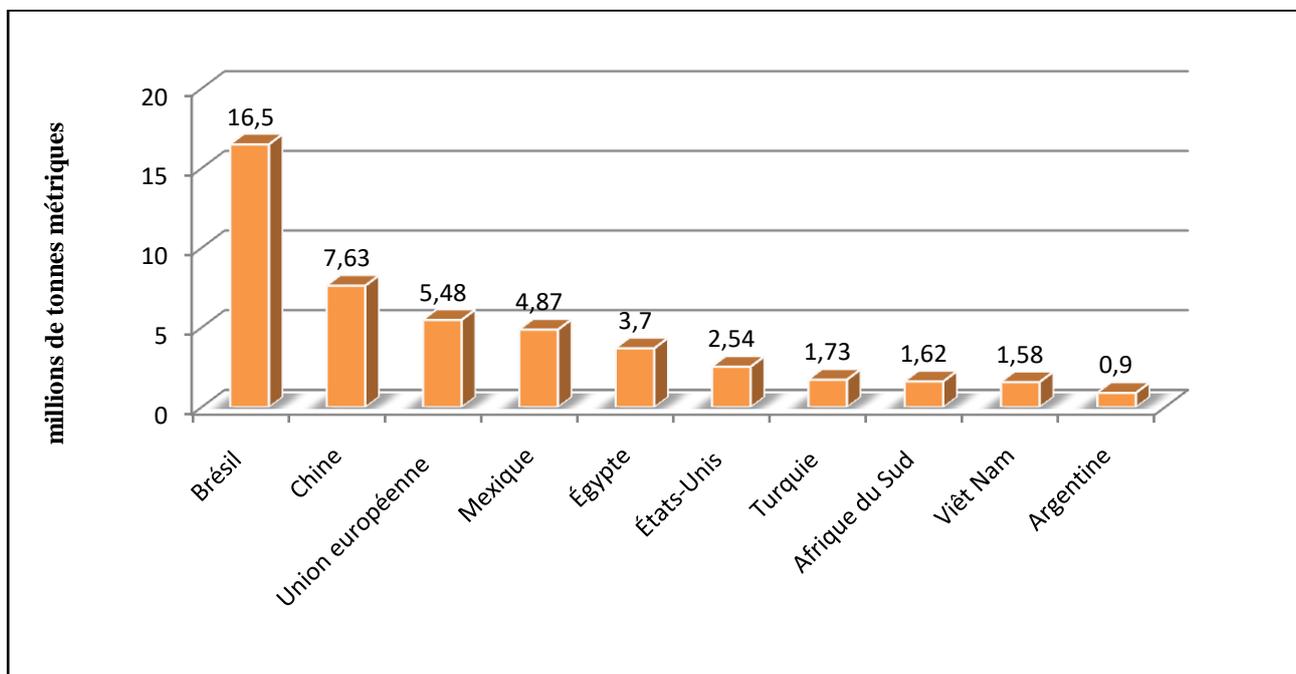


Figure 5 : données détaillées de production pour certains des principaux pays producteurs d'oranges.

Source : USDA Foreign Agricultural Service - Citrus: World Markets and Trade JANVIER (2024)

Des conditions météorologiques favorables dans des pays comme la Chine et les États-Unis ont contribué à l'augmentation de la production, tandis que des régions comme le Brésil et l'Union européenne ont connu des résultats variables. (**USDA Foreign Agricultural Service - Citrus: World Markets and Trade 2024**)

1.4.2. La production d'agrumes dans l'Algérie :

La filière des agrumes en Algérie a connu une croissance impressionnante durant la saison agricole 2023-2024, atteignant une production de plus de 18 millions de quintaux, soit plus de 1,8 million de tonnes. Cette information a été dévoilée par **Mohamed Nadji**, président du Conseil interprofessionnel de la filière agrumes (CNIF/agrumes), lors d'une journée d'étude préparatoire du salon régional des agrumes pour la région Centre, à Alger.

M. Nadji a souligné que cette croissance est particulièrement notable dans les wilayas du sud, notamment El Oued, El Menia et Ouargla, qui ont largement contribué à l'augmentation de la production nationale. Cette performance marque une augmentation significative par rapport à la saison précédente, où la production était de 16 millions de quintaux. L'expansion des superficies dédiées aux agrumes, avec une augmentation annuelle de 5 000 hectares, est un facteur clé de ce développement.

Il a également insisté sur l'importance d'encourager les agriculteurs à cultiver des variétés anciennes et de réduire les importations de produits destinés à la transformation pendant la récolte. Les agriculteurs adoptent des pratiques agricoles intensives, avec une densité de plantation de 700

arbres par hectare. Cependant, pour soutenir cette initiative, des mesures supplémentaires sont nécessaires, telles que la signature de contrats avec des unités de transformation, l'élargissement du réseau de commercialisation, et l'ouverture de nouvelles voies d'exportation vers les pays africains.

Lors de cet événement, **Redouane Messaoudi**, représentant du ministère de l'Agriculture et du Développement rural, a présenté les capacités de la filière en Algérie. Il a indiqué que la production d'agrumes, toutes variétés confondues, a atteint 16 millions de quintaux lors de la saison 2022/2023, sur une superficie de plus de 80 000 hectares, dont 62% se situent dans la région du Centre , Les chiffres avancés par le responsable montrent que :

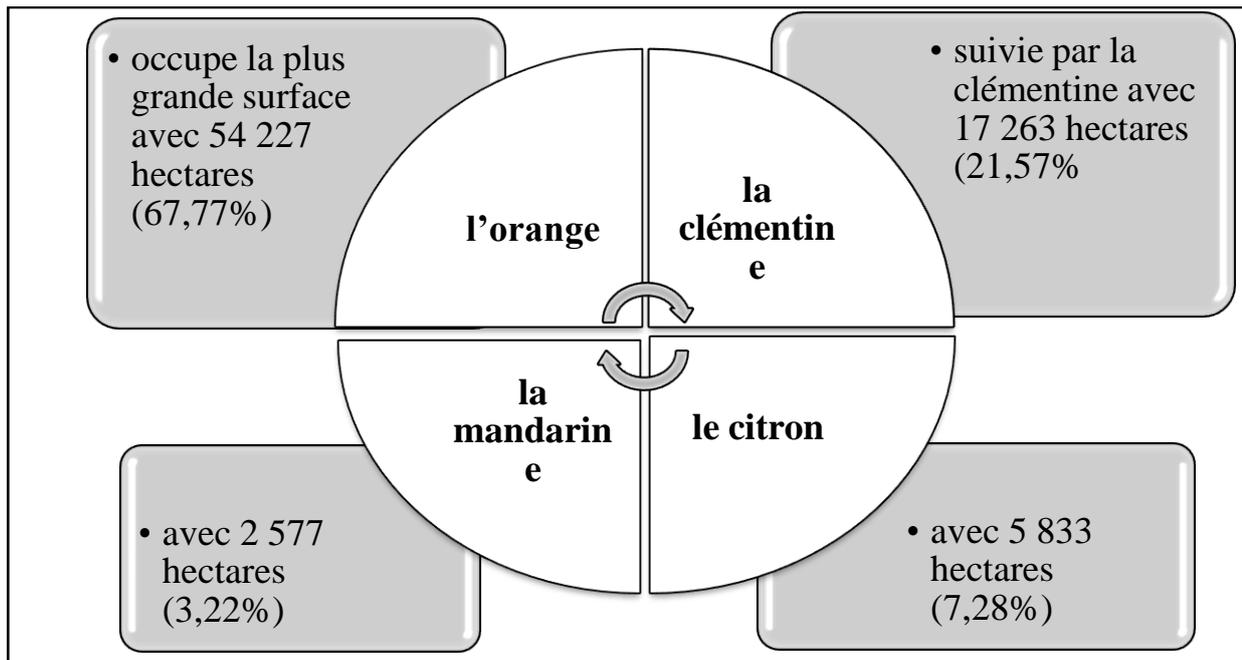


Figure 6 : surfaces de la production des agrumes en algérie en 2024

La wilaya de Blida se positionne en tête du classement de la production avec 4 millions de quintaux, suivie par Chlef (1,7 million) et Mostaganem à la troisième place avec 1,5 million de quintaux

I.5. Cycle biologique (croissance et développement) :

cycle biologique	Description
Étapes de la croissance	
Période d'élevage en pépinière	Dure 12 à 36 mois. Débute par le semis des graines, suivi du greffage et du développement des jeunes plants.
Période improductive	Dure 2 à 3 ans après la transplantation au champ. L'arbre développe son système racinaire et son feuillage. Soins intensifs requis (fertilisation, irrigation, taille).
Période d'entrée en production	Début de la floraison et de la fructification, qui s'intensifie sur 5 à 7 ans.
Période de pleine production	L'arbre se stabilise en croissance végétative, se concentrant sur la floraison et la fructification. Cette phase est la plus rentable pour l'agrumiculteur.
Période de vieillissement	Dure après 30 à 40 ans. Diminution de la production, renouvellement réduit des pousses et densité du feuillage plus faible.
Période de décrépitude	Les arbres deviennent économiquement non rentables. Vulnérables aux maladies et les fruits sont de mauvaise qualité
Cycles annuel de développement	
Croissance végétative	Se déroule en trois phases : 1. Printemps (février à mai) : allongement des branches et apparition des jeunes feuilles. 2. Été (juillet-août) : poussée réduite. 3. Automne (octobre à novembre) : renouvellement du feuillage.
Développement floral	-Floraison (mars-mai) : un arbre adulte produit environ 60 000 fleurs, mais seulement 1 % aboutit à des fruits. -Pollinisation et fécondation : Le pollen est transporté par le vent et les insectes. La fécondation se termine par la fusion des gamètes (anthérozoïde et oosphère).
Développement des fruits	
Nouaison	Phase initiale après la fécondation.
Grossissement	Se déroule de mai à juin. L'eau et les nutriments sont essentiels pour le développement du fruit
Maturation	De juillet à septembre. Les fruits atteignent leur taille finale en octobre.

Tableau 1 : Cycle biologique de l'oranger source : (Praloran, 1971 ; LOUSSERT, 1989b).
Adapté par (DEHEGANI, 2020)

I.6. Système de reproduction chez les agrumes :

Les agrumes sont connus pour leur floraison abondante, généralement au début du printemps, bien que certaines variétés comme le citronnier Eureka puissent fleurir plusieurs fois par an. La période de floraison varie selon la région et les températures, avec les Poncirus qui fleurissent plus tôt que

les autres agrumes et les Fortunella plus tardivement. Les fleurs des agrumes sont hermaphrodites, comportant des sépales, des pétales blancs ou pourpres, ainsi que des organes reproducteurs mâles et femelles. Certaines espèces peuvent présenter des anomalies, comme l'absence ou l'atrophie du pistil. La pollinisation est majoritairement assurée par les insectes, bien que l'autopollinisation soit possible. La reproduction peut être sexuée ou asexuée, avec des phénomènes comme la polyembryonie et l'apomixie favorisant la reproduction conforme du génotype maternel, tandis que l'auto-incompatibilité peut encourager la recombinaison génétique..(Bounab D et Chaabi Y., 2018)

I.7. La morphologie des agrumes :

L'oranger est un arbuste de petite taille à feuillage persistant, pouvant atteindre une hauteur maximale de 10 mètres. Il se caractérise par des branches pourvues d'épines et des feuilles mesurant de 4 à 10 cm de long. Le fruit produit par le Citrus sinensis est nommé orange douce afin de le distinguer de l'orange amère, dont les fleurs sont utilisées pour extraire l'essence de néroli et l'eau de fleur d'oranger. Tous les agrumes sont classés comme des baies cloisonnées, en raison de leur texture charnue, de la présence de nombreuses graines et de leur origine à partir d'un seul ovaire. (AL SID CHIKH N et BAHA I, 2022).

I.7.1. Système racinaire :

Le réseau de racines, représenté par le porte-greffe (ou sujet), remplit un rôle crucial. Il assure non seulement la stabilité de l'arbre dans le sol, mais aussi son approvisionnement en eau et en nutriments essentiels (Khen, 2014).

I.7.2. Système aérien :

Le système aérien est principalement constitué par la variété spécifique (ou cultivar) de l'espèce cultivée, qu'il s'agisse d'un oranger, d'un mandarinier, etc. Cette partie de l'arbre est le moteur de la production, étant chargée de porter les fruits (Khen, 2014).

a) Tronc et branches :

La croissance en hauteur du tronc est restreinte à quelques dizaines de centimètres grâce à la première taille de formation, qui favorise le développement des futures branches principales. Ces branches principales, généralement limitées à 3, 4 ou 5 par la taille de formation, constituent la structure de l'arbre et émergent du tronc. Elles se subdivisent en branches secondaires qui, à leur tour, supportent les rameaux végétatifs et fructifères. La ligne de greffe, résultant de l'union entre la variété cultivée et le porte-greffe, se trouve au niveau du tronc (Khen, 2014). **Figure 7**

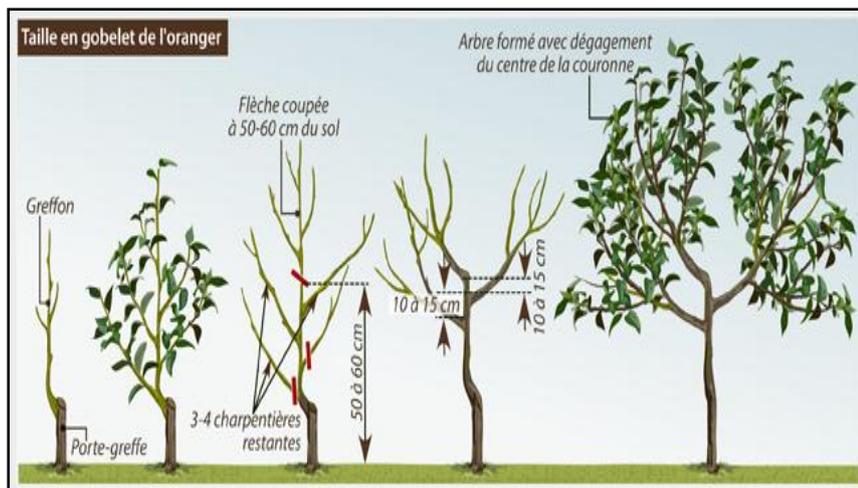


Figure 7 : Morphologie et taille de tronc et branches de l'oranger (2014) [1]

b) Les feuilles :

Les feuilles sont alternes, pétiolées, et semi-persistantes, ne tombant qu'après l'émergence des nouvelles feuilles. Elles présentent des bords légèrement dentelés ou crénelés, parfois presque lisses, et sont parsemées de nombreuses glandes translucides visibles à contre-jour. Le pétiole, parfois orné de petites ailes qui lui donnent un aspect aplati, est articulé à la base du limbe, comme s'il était interrompu par une ligne transversale, ce qui crée un point de rupture facile (**Khen, 2014**).

Figure 8



Figure 8 : feuille de l'oranger (2024) [2]

c) Les fleurs :

Les fleurs, qui s'épanouissent pendant une grande partie de l'année, sont très parfumées et se composent de 3 à 5 sépales verts, de 4 à 8 pétales blancs ou légèrement teintés de rouge, contenant des glandes à essence. Elles possèdent de 20 à 40 étamines aux filets soudés en groupes, ainsi qu'un ovaire divisé en 6 à 14 loges, surmonté d'un style (**Khen, 2014**). **Figure 9**



Figure 9 : fleur d'oranger (2024) [3]

d) Les fruits :

Les fruits des principales espèces et variétés du genre Citrus varient en couleur, forme, taille, composition du jus et période de maturation. Cependant, tous ces fruits partagent une structure anatomique similaire. On peut distinguer plusieurs parties :

- ✓ **L'écorce**, qui est généralement peu épaisse, constitue la partie non comestible du fruit. Elle est composée de l'épicarpe et du mésocarpe, tant externe qu'interne. À maturité, c'est l'épicarpe qui prend une couleur orangée.
- ✓ **La pulpe**, formée par l'endocarpe, représente la partie comestible du fruit. Elle se compose de nombreux poils ou vésicules qui contiennent le jus.
- ✓ **Les pépins** résultent de la fécondation. Chez le clémentinier, l'absence de pépins dépend des conditions de pollinisation, bien que l'autofécondation soit impossible (**Khen, 2014**). **Figure**

10

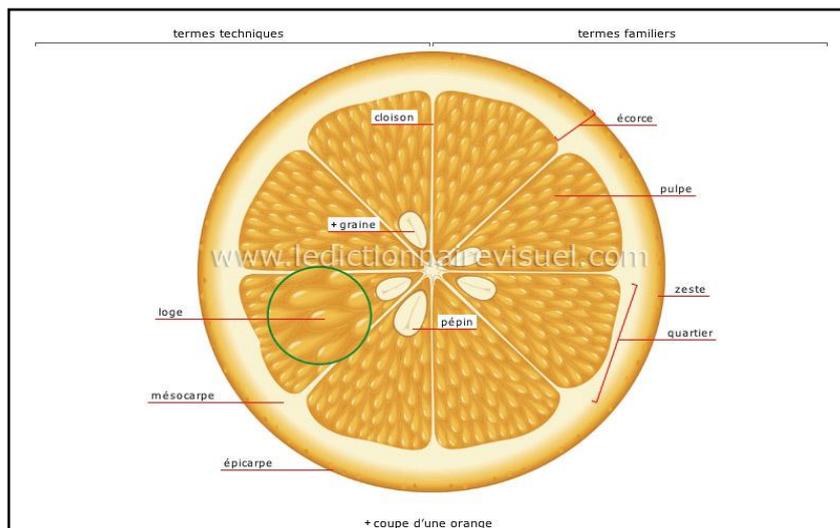


Figure 10 : coupe transversale d'une orange (2024) [4]

I.8. La génétique des agrumes :

I.8.1. Génome des agrumes :

Les agrumes, étant des espèces diploïdes avec 9 chromosomes, présentent des variations dans la taille de leur génome haploïde malgré le nombre constant de chromosomes. Par exemple, le génome haploïde varie de 360 Mb chez le *C. reticulata* à 398 Mb chez le *C. medica*, avec des espèces secondaires comme l'oranger et le bigaradier possédant un génome de taille intermédiaire (**Ollitrault et al., 2003**). La relation phylogénétique entre les espèces primaires et secondaires implique que le génome des espèces secondaires est une mosaïque de fragments d'ADN hérités des espèces parentales, en particulier des pamplemoussiers et des mandariniers, conduisant à une forte hétérozygotie chez les espèces cultivées (**Garcia Lor et al., 2012**). Le clémentinier a été le premier agrume dont le génome a été séquencé (**Luro et al., 2013**), devenant la référence pour les autres agrumes avec un génome de 367 Mb. Le séquençage a été réalisé par le consortium international ICGC (International Citrus Genome Consortium) entre 2008 et 2010 dans plusieurs laboratoires internationaux (**Wu et al., 2014**). D'autres agrumes, comme le *C. sinensis* (**Xu et al., 2013**), ainsi que des mandariniers et des hybrides, ont également été séquencés (**Shimizu et al., 2012**). Ce séquençage génomique ouvre la voie au développement de la sélection assistée par marqueurs, avec de nombreux marqueurs développés grâce au séquençage et des cartes physiques et génétiques élaborées pour des agrumes tels que l'oranger, le clémentinier et le pamplemoussier (**Ollitrault et al., 2012**).

I.8.2. La Cartes génétiques des agrumes :

Jusqu'à présent, plusieurs études ont été menées sur la cartographie génétique des agrumes, avec des publications de cartes de liaison entre marqueurs génétiques (**Ollitrault et al., 2012**). La plupart de ces cartes sont basées sur des croisements entre *Citrus* x *Poncirus*, visant à augmenter le niveau d'hétérozygotie pour faciliter l'identification des marqueurs. Cependant, ces croisements ne permettent pas d'étudier les caractères agronomiques liés aux fruits, car les hybrides obtenus ne sont que rarement comestibles. De plus, la plupart de ces cartes sont incomplètes en raison du nombre limité de marqueurs utilisés, ce qui entraîne souvent un nombre de groupes de liaison différent du nombre de chromosomes. Pour obtenir des cartes plus complètes, il est nécessaire d'augmenter le nombre de marqueurs pour couvrir l'ensemble du génome de manière plus fine. En **2012**, **Ollitrault et al.** ont publié la première carte de référence des agrumes, offrant ainsi la possibilité d'analyses fines des loci de caractères quantitatifs (QTL), Certaines études de QTL ont permis de localiser des régions chromosomiques associées à la tolérance à la salinité, la résistance à la Tristeza, la résistance à l'*Alternaria* Brown Spot, le nombre de pépins et le rendement, ainsi que les

caroténoïdes (Sugiyama et al., 2011). Toutefois, malgré ces avancées, des analyses détaillées des QTL concernant la qualité des fruits restent à réaliser .

I.9. Variétés d'oranger :

a. Blondes navels

Les oranges blondes navels sont des fruits à maturation précoce, appréciés pour leur goût excellent et leur chair blonde, croquante et juteuse. Ces oranges, adaptées aux climats chauds des régions tropicales et semi-tropicales, sont récoltées de novembre à février. Les principales variétés cultivées en Méditerranée incluent Washington, Thomson, Navelina, Navelate et New Hall. (**Akrouf Lounès, 2022**)

b. Blondes

Les oranges blondes possèdent une chair blonde avec peu de pépins et sont de petite taille. Elles sont disponibles de décembre à mars. .(**Akrouf Lounès, 2022**)

c. Sanguines

Les oranges sanguines se distinguent par leur chair rougeâtre, due à la présence d'anthocyanine, un pigment rare chez les agrumes mais commun dans d'autres fruits. Elles sont très juteuses et ont une peau lisse avec de minuscules points rouges. Les variétés comme Torocco, Washington Sanguine, Moro et Sanguinello sont disponibles de mars à avril. .(**Akrouf Lounès, 2022**)

d. Tardives

Les oranges tardives sont récoltées d'avril à juin autour de la Méditerranée et de juin à octobre dans l'hémisphère sud. Ces oranges ont une pulpe douce et presque sans acidité. Il est difficile de différencier les variétés industrielles des variétés de consommation, car une même variété peut être destinée à la transformation ou à la vente en frais. En général, les oranges industrielles sont des fruits de second choix, souvent écartés du marché de fruits frais en raison de leur taille, forme irrégulière ou dommages superficiels. .(**Akrouf Lounès, 2022**) **Tableau 2**

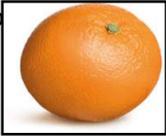
Maturité	Variétés				Groupes de variétés
Variétés hâtive	Thomson 	Washington navel 			Navals
Variétés de saison	Hamlin, 	Jaffa Portugaise, 	Cadenera Maltaise, 	Double fine 	Blondes sans pépins
Variétés tardives	Washington sanguine 	Valencia late 			Sanguine sans pépins Tardives sans pépins Blondes communes Sanguines communes

Tableau 2 : Principales variétés d'orange (CLEMENT, 1978).

1.10. Principales caractéristiques de l'oranger : *Citrus sinensis* var. Washington navel :

La Washington Navel est la variété d'orange la plus cultivée et la plus recherchée par les consommateurs en raison de sa maturité. Récoltée de novembre à février, elle est très prisée pour l'exportation (Bencheikh Reda, 2021). Tableau 3

Espèce	Variété	Caractéristiques
Citrus sinensis	Washington Navel	<ul style="list-style-type: none"> - Le port de l'arbre en pépinière est retombant. - La feuille de plus de six mois possède une coloration vert foncé et les nouvelles pousses ont une coloration plus claire. - La feuille a à peu près 10 à 12 cm de long. - La large feuille fait de 3 à 7 cm. - L'extrémité du limbe est douce (un peu arrondie). - A son aisselle, une épine apparaît et disparaît en vieillissant. - Le pétiole fait une longueur d'environ 20 mm et possède une bractée pas très étendue, mais visible

Tableau 3 : principaux caractères de l'oranger (Bencheikh Reda, 2021)

1.11. Les principaux porte-greffes d'agrumes :

Porte –greffe	Aptitudes et comportement	Sensibilité aux maladies et parasites
<p>Bigaradier Citrus aurantium L.</p> 	<p>Une bonne affinité avec les principales variétés cultivées</p> <p>Une multiplication par semis/greffage très facile</p> <p>Une grande souplesse d'adaptation aux conditions édaphiques</p> <p>Relativement tolérant aux chlorures, Assez tolérant au calcaire</p> <p>Induit une qualité de fruit acceptable avec une productivité moyenne</p> <p>Bonne affinité avec toutes les variétés sauf le kumquat et la Satsuma</p> <p>Résiste à la sécheresse, Craint l'excès d'eau et les sols lourds.</p>	<p>Sensible à la Tristeza sauf en association avec le citronnier</p> <p>Sensible au Mal sec-co et aux nématodes</p> <p>Tolérant au Blight, et l'Exocortis</p> <p>Résistant à la gommose à Phytophthora</p>
<p>Poncirus Trifoliata (L.)</p> 	<p>Espèce à feuilles caduques, Résistant au froid (-15°C) partiellement conféré au scion</p> <p>enracinement puissant traçant et pivotant</p> <p>Faible vigueur des arbres (PG nanisant)</p> <p>Supporte les terres humides et l'asphyxie</p> <p>Sensible au calcaire, aux chlorures et l'excès de bore (toxicité)</p> <p>Amélioration de la qualité du fruit (taux de sucre),</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sensible à l'Exocortis. - Tolérant aux nématodes ; - Tolérant à la Tristeza
<p>Citrange Troyer</p> 	<p>Porte greffe vigoureux par rapport au Poncirus T, Les jeunes plants sont peu sensible à la fonte de semis,</p> <p>Enracinement de type pivotant</p> <p>Supporte les sols moyennement humides</p> <p>Peu tolérant au calcaire et aux Chlorures, Amélioration très légère de la sensibilité au froid</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sensible à l'Exocortis et aux nématodes -Tolérant à la Tristeza, - Résistant à la Gommose

<p>Citrange Carrizo</p> 	<p>Un hybride de même type que le C. troyer, avec enracinement pivotant dense et profond, porte-greffe vigoureux, le plus utilisé actuellement</p> <p>Supporte les sols moyennement humide</p> <p>Peu tolérant au calcaire et aux chlorures</p> <p>Productivité élevée, de bonne qualité, Confère à la variété greffée une bonne résistance au froid.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sensible à l'Exocortis - Tolérant à la Tristeza, - Tolérant aux Nématodes
<p>Citrus volkameriana</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Bon porte- greffe, très compatible avec les citronniers et les pomélos, -Bon enracinement, - Bonne résistance au froid; - Très vigoureux, -hâte la mise à fruits ; - Adapté aux sols secs et aérés, Résistant aux chlorures; - En pépinière plein champs il est très sensible aux fortes gelées 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensible à la Tristeza - Tolérant à la Gommose et à l'Exocortis.
<p>Citrus macrophylla Wester</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -porte greffe compatible surtout avec les citronniers et pomélos; - Très vigoureux <p>Bonne productivité et hâte la mise à Fruit, Sensible au froid et aux sols Humides, Supporte les chlorures et le calcaire</p>	<p>Sensible à la Tristeza</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tolérant à la Gommose et à l'Exocortis.
<p>Mandarinier Cléopâtre</p>	<p>-S'adapte mieux aux sols légers et bien drainés ;</p>	<p>Tolérant à la Tristeza, la</p>

<p>(Citrus reticulata Blanco)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Tolère le calcaire et les chlorures ; - Productivité moyenne ; - Mauvaise reprise au greffage ; - Germination des graines en pépinières très difficile (fonte de semis) 	<p>Cachexie- xylophorose et l'Exocortis.</p> <p>-Résistant à la Gommose</p>
---	--	---

Tableau 4 : principaux porte-greffe d'oranger utilisé dans le monde (DEHEGANI Selma, 2020)

I.12. Les porte-greffes conventionnels utilisés en Algérie :

Il n'existe pas de porte-greffe parfait pour les agrumes, et le choix doit se baser sur les facteurs limitant la production, en fonction des conditions locales, du cultivar utilisé et de l'objectif de production. (Davies et Albrigo, 1990 ; Aubert et Vullin, 1997). (DEHEGANI Selma, 2020)

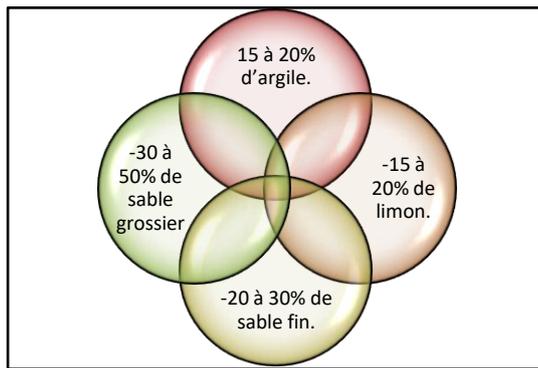
Historiquement, le bigaradier était utilisé, mais sa sensibilité à la Tristeza a poussé à rechercher des alternatives tolérantes à cette maladie. En Algérie, des porte-greffes comme le Poncirus trifoliata, les Citranges (Troyer, Carrizo), le Citrus Volkameriana et le mandarinier Cléopâtre sont utilisés en fonction des conditions pédoclimatiques et des sensibilités aux maladies. Des essais sont également en cours avec des variétés comme le Citrumelo. (DEHEGANI Selma, 2020).

I.13. Exigences pédoclimatiques des agrumes

Exigences Pédoclimatiques des Agrumes	Description	
1. Exigences Climatiques		
Température	Les agrumes prospèrent dans des climats chauds. Température optimale : 25-26°C. Températures minimales : 12,8°C pour la croissance végétative. Températures maximales : 38-40°C pour cesser l'activité.	
Pluviométrie	Minimum de 120 mm par mois (1200-1500 mm/an). Période humide (septembre à mars) et période sèche (avril à août), nécessitant irrigation.	
Gelées	Sensibles aux gelées : dommages dès -1°C pour les fruits, -3°C pour l'arbre, et mort à -8°C.	
Vent	Le vent peut provoquer la chute des fruits et endommager l'écorce. Des haies brise-vent sont recommandées.	
Humidité	Une humidité élevée favorise les maladies (phytophthora, pourritures, cochenilles). Zones à éviter : côtières et hydromorphes. Faible humidité augmente les besoins en eau d'irrigation.	
2. Exigences Édaphiques		
Sol	Les agrumes nécessitent un sol profond avec un système racinaire bien développé. Porte-greffes adaptés permettent l'utilisation de sols divers (alluvions, sols sableux, argileux).	
	Paramètres Physiques	Paramètres Chimiques

- **Profondeur et homogénéité** : Sol profond (minimum 1 mètre) et homogène.
- **Perméabilité** : Perméabilité de 10 à 20 mm/h pour éviter l'asphyxie racinaire.
- **Capacité de rétention d'eau** : Sol doit pouvoir retenir l'eau après pluie/irrigation. Les sols trop humides favorisent les maladies.

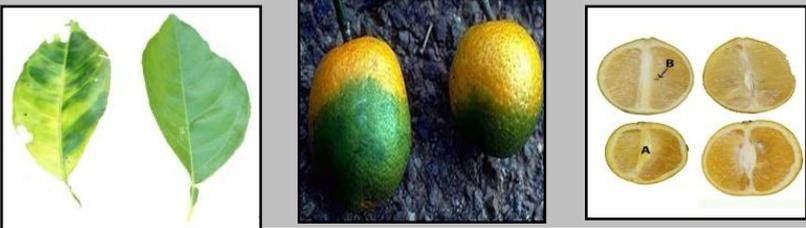
Selon (Praloran, 1971) La texture convenable pour les agrumes est comme suit :

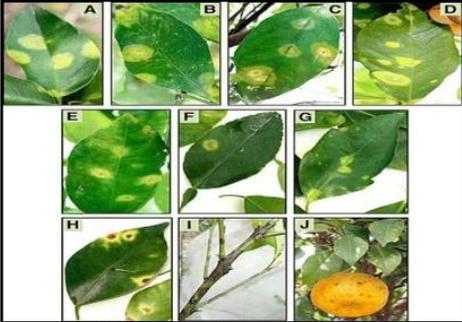


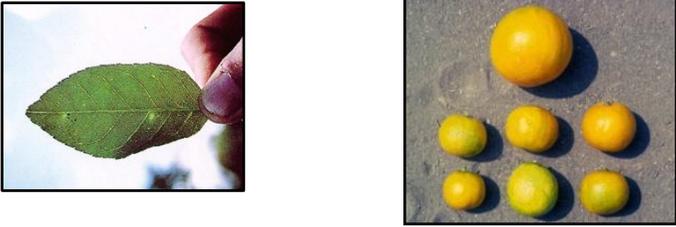
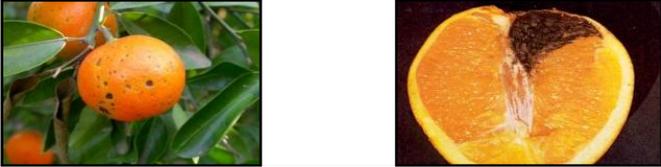
- **Matière organique** : 2-3 % dans les 30 premiers cm du sol.
- **Teneur en P₂O₅ et K₂O** : Varie selon la proportion d'argile.
- **Salinité** : Sensibilité à la salinité, choix du porte-greffe adapté (bigaradier pour sols salins).
- **pH du sol** : Idéal entre 5,5 et 7,5, souvent supérieur dans les régions méditerranéennes, entraînant des carences en oligoéléments (fer, magnésium, cuivre).
- **Calcaire actif** : Excès de calcaire actif (>8-10%) peut causer des carences en nutriments. Certaines variétés comme le *Poncirus trifoliata* sont plus tolérantes.

Tableau 5 : Exigences pédoclimatiques des agrumes source : (Loussert, 1985 ; 1989., GRISONI, 2003., WALALI et al., 2003., Lebdi Grissa, 2010). Adapté par DEHEGANI Selma, 2020)

I.14. Ravageurs et maladies de l'oranger :

Catégorie	Nom de la maladie/ravageur	Définition	Symptômes
Maladies Bactériennes	Chancre Bactérien des Agrumes	Maladie d'origine asiatique causée par <i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>citri</i> , affectant les plantes de la famille des Rutaceae, notamment les agrumes (<i>Citrus sp.</i>)	Lésions brunes en forme de cratère sur feuilles, fruits et rameaux, entourées d'un halo jaune distinctif. Défoliation et chute prématurée des fruits. 
	Flétrissement des Arbres d'Agrumes	Causé par <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>syringae</i> , affectant diverses variétés d'agrumes, particulièrement vulnérables en période d'humidité prolongée.	Lésions noires sur pétioles et feuilles, dessèchement et enroulement des feuilles, parfois petits cratères noirs sur fruits. 
	Verdissement des Agrumes	Causé par des bactéries du genre <i>Candidatus Liberibacter</i> , provoquant un dépérissement mondial des agrumes. Obstruction du phloème, empêchant la distribution des nutriments.	Décolorations asymétriques des feuilles, fruits déformés, réduction de taille, mort de l'arbre après quelques années 

	Chlorose Panachée des Agrumes	Causée par <i>Xylella fastidiosa</i> , cette maladie est propagée par des insectes suceurs de sève et entraîne une obstruction de l'absorption d'eau par l'arbre.	Jaunissement des feuilles, dépérissement de l'arbre, fruits plus petits, floraison anormale. 
Maladies Virales	Psorose des Agrumes	Virus causant la dégradation de l'écorce des agrumes, principalement transmis par des greffons infectés	Taches chlorotiques sur feuilles, détérioration de l'écorce avec des ampoules, fruits avec motifs chlorotiques en forme d'anneaux.  
	Mosaïque des Agrumes	Causée par des <i>Badnavirus</i> qui sont transmis par des cochenilles et pucerons, infectant divers hôtes tropicaux comme les agrumes.	Marbrures chlorotiques, déformation des feuilles, réduction de la taille des plantes. Symptômes souvent masqués mais réapparaissent sous stress. 
	Léprose des Agrumes	Maladie virale causée par plusieurs espèces de virus, principalement transmis par des acariens <i>Brevipalpus</i> , causant des pertes de rendement significatives.	Lésions circulaires sur feuilles, tiges et fruits, halos chlorotiques, fruits non commercialisables ou chute prématurée des fruits. 

	Tristeza des Agrumes	Maladie causée par le virus de la tristeza des agrumes (CTV), localisé dans le phloème des arbres et transmis par les pucerons.	Dépérissement rapide des arbres, jaunissement des jeunes semis, réduction de la taille des fruits, subérisification des nervures des feuilles 
Maladies Fongiques	Gombose Parasitaire des Agrumes	Causée par des oomycètes du genre <i>Phytophthora</i> , entraînant la formation de gommages sur le tronc et les branches	Zones d'écorce morte sur tronc et branches, exsudation de gomme, dépérissement des racines, craquelures de l'écorce. 
	Alternariose des Agrumes	Maladie fongique causant une pourriture noire, se développant profondément dans les fruits infectés.	Pourriture noire matte, petites taches foncées sur feuilles et fruits, développement de liège sur peau des fruits qui se détache à maturité. 
	Taches Noires (Citrus Black Spot)	Causée par le champignon <i>Phyllosticta citricarpa</i> , affectant principalement les feuilles et les fruits des agrumes.	Taches circulaires sombres avec halo jaune sur feuilles, lésions concaves brun-noir sur jeunes rameaux, taches dures et irrégulières sur fruits avec chute prématurée. 

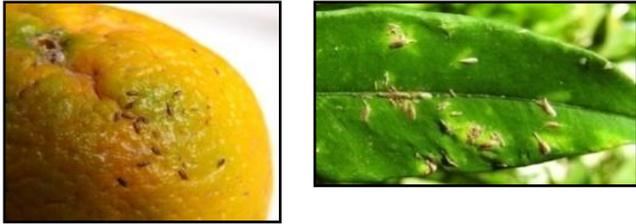
<p>Ravageurs Insectes</p>	<p>Cochenilles Virgules</p>	<p>Insecte de la famille des diaspines, reconnaissable à son bouclier en forme de virgule, attaquant les tiges inférieures des arbres.</p>	<p>Taches circulaires sombres sur les feuilles et rameaux, taches dures avec centre gris-brun sur les fruits, fausses mélanoses, taches craquelées et surélevées, chute prématurée des fruits.</p> 
<p>Ravageurs Acariens</p>	<p>Araignée Rouge</p>	<p>C'est Tetranychus urticae Espèce d'acarien répandue qui pique les feuilles et les fruits, affaiblissant les arbres et altérant la qualité des fruits.</p>	<p>Fruits : Taches chlorotiques jaunes ou vert pâle sur jeunes fruits ; apparence terne des fruits matures. Feuilles : Zones de chlorose avec points jaunes, pouvant entraîner la chute des feuilles.</p> 
<p>Ravageurs Nématodes</p>	<p>Nématode des racines des agrumes</p>	<p>Nématode semi-endoparasite sous le nom de Tylenchulus semipenetrans affectant principalement les agrumes, causant un affaiblissement des arbres et une réduction de rendement.</p>	<p>Diminution de la taille des feuilles et des fruits, éclaircissement de la canopée, branches dénudées, réduction du rendement, affaiblissement général des arbres, perte de feuillage.</p> 

Tableau 6 : les ravageurs et maladies de l'oranger source : (Almeida, 2005,. Henri, 2013,. Boukerche, 2014,. Hartung, 2015,. Gast T et Watkins T, 2018,. Lifang, 2019,. Colitta, 2020,. Hamani, 2020,.) adapté par (AL SID CHIKH N et BAHA I, 2022

II.1. La composition chimique et propriétés de citrus sinensis :

Citrus sinensis est un agrume très juteux et riche en eau (85%) très acide (pH inférieur à 4) Son acidité légère est liée à la présence d'acides organiques naturels (acide citrique et acide malique notamment) Sa valeur énergétique est moyenne et repose essentiellement sur ses glucides (saccharose, fructose, glucose), Le fruit est riche en glucides, et en acides organiques, acides aminés, minéraux, vitamines et lipides pour 21% (Tableau 7). Les trois pour cent qui restent sont représentés par un de nombreux composés divers, incluant des flavonoïdes, des composés volatils, des caroténoïdes tels que la carotène (précurseur de la vitamine A), qui ont une très forte influence sur les caractéristiques organoleptiques de ce produit (**Bencheikh R et Benamrane A-Y, 2021**)

Constituants	Teneurs
Acides Organiques	8.5 à 12 % dans le fruit à maturité, représenté par le saccharose (40%)
Autre Composés Energétiques	Lipides concentrés dans les pépins, peu de protéines
Vitamine	Vitamine c (40 à 80 mg pour 100 g) Vitamines hydrosolubles qui sont toutes des vitamines du groupe B (B1 et B9, en particulier) Vitamine A (0.05 à 0.2 mg pour 100g) Vitamine E (0.24 mg pour 100g)
Oligo-Eléments	Fer, cuivre, zinc, Manganèse, Nickel, Iode, Trace de Bore et Sélénium
Fibres	Une teneur de 2.4 % en moyenne, elles ont l'originalité d'être riche en pectine (environ 50%)
Flore Mésophiles	Levures et lactobacilles indispensable à sa bonne digestion
Substances Aromatique	Ce sont des composés complexes caractéristiques de ce fruit (aldéhydes, esters.....etc), des essences es odorantes
Glucides	8.5 à 12 % dans le fruit à maturité, représenté par le Saccharose (40%)
Pigments	Donnent à la pulpe sa couleur plus ou moins marquée jaune orangé pour les flavonoïdes et les caroténoïdes, Jaune pour les xanthophylles, rouge ou rouge violacé pour les anthocyanes.

Tableau 7 : la composition chimique d'oranger douce (BADAOUI W et BARCHI Y, 2019)

II.2. Les composés bioactifs :

II.2.1. LES HUILES ESSENTIELLES :

II.2.1.1. Définitions :

Le terme « huile essentielle » désigne les composants liquides et hautement volatils des plantes, reconnaissables par leur forte odeur caractéristique. Ces huiles sont des métabolites secondaires produits par les plantes comme mécanisme de défense contre les ravageurs phytophages. La norme AFNOR NFT 75-006, publiée en février 1998, définit l'huile essentielle comme un produit extrait de matières premières végétales par entraînement à la vapeur, par des procédés mécaniques à partir de l'épicerpe des agrumes, ou par distillation sèche. Dans les deux premiers cas, l'huile essentielle est séparée de la phase aqueuse par des méthodes physiques. (BOUKROUFA M, 2016)

II.2.1.2. Localisation :

Dans les agrumes, les huiles essentielles sont situées dans les cellules et les glandes de la peau colorée du fruit, ou on peut dire dans des poches schizolysigènes (figure 11), localisées dans la partie externe du mésocarpe du fruit (flavedo). Elles sont également contenues dans les sacs d'huiles au sein des vésicules de jus. (EL KANTAR S, 2018)

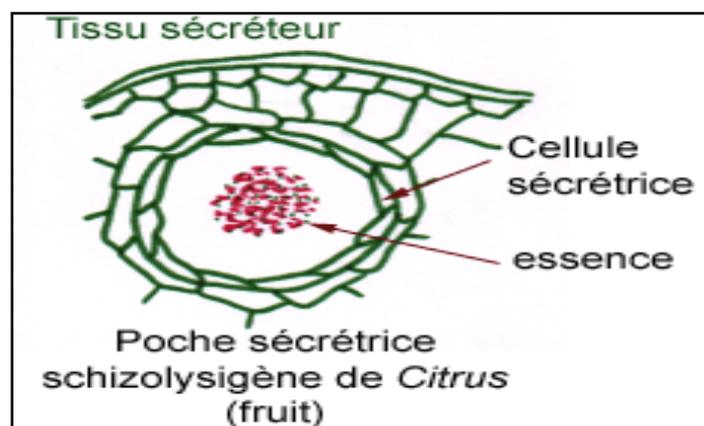


Figure 11 : Localisation des huiles essentielles, Poche sécrétrice [5]

II.2.1.3. Composition :

- ✓ **Les terpènes** sont des hydrocarbures naturels, présents sous forme cyclique ou linéaire, caractérisés par la présence d'unités isopréniques de cinq atomes de carbone (C₅H₈) dans leur structure. Ils se classifient selon le nombre d'unités isopréniques : les monoterpènes, avec deux unités (C₁₀H₁₆), les sesquiterpènes, avec trois unités (C₁₅H₂₄), les diterpènes, avec quatre unités (C₂₀H₃₂), et les tétraterpènes, qui comportent huit unités et aboutissent aux caroténoïdes.

- ✓ **Les composés aromatiques**, une autre catégorie de composés volatils fréquemment rencontrés, dérivent du phénylpropane et incluent des substances odorantes bien connues telles que la vanilline, l'eugénol, l'anéthol et l'estragol
- ✓ **Les composés phénoliques**, produits du métabolisme secondaire des plantes aromatiques, se caractérisent par la présence d'un noyau benzénique portant un ou plusieurs groupes hydroxyles. Ces composés, d'intérêt biologique, sont principalement présents dans les végétaux (fruits, légumes, céréales) et dans divers produits dérivés comme le thé, les jus de fruits, le vin et la bière. (DIDI A et YAKOUBI S, 2021)

L'hydrocarbure monoterpénique limonène, est le composant majeur des huiles essentielles d'agrumes, représentant une teneur de 80% à 95% de toutes les huiles d'agrumes. Le limonène dont la formule empirique est $C_{10}H_{16}$ est un liquide incolore à température ambiante. Il existe sous forme de deux isomères optiques le D-limonène (ou R-(+)-limonène) et le L-limonène (ou S-(+)-limonène) (figure 12).

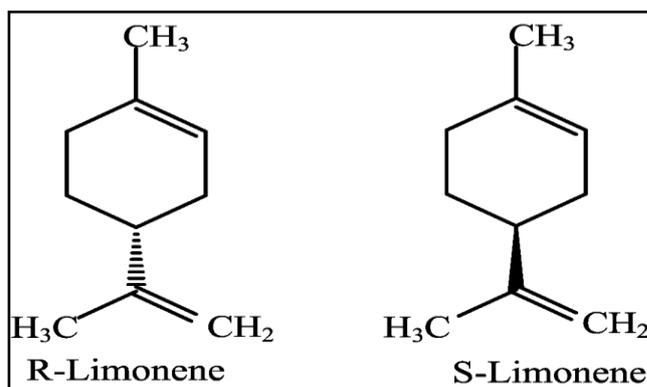


Figure 12 : Structure de R-Limonène et S-Limonène [6]

II.2.1.4. La conservation :

La conservation des huiles essentielles constitue un défi en raison de leur sensibilité à la dégradation. Ces substances délicates sont sujettes à divers processus altérants tels que la photo-isomérisation, la photo-cyclisation, l'oxydation des propénylphénols, la peroxydation des carbures, ainsi que la transformation en cétones et alcools (comme le limonène). Afin de préserver leurs qualités, il est crucial de les conserver dans des contenants hermétiques en aluminium, acier inoxydable ou verre teinté, et de les protéger de la lumière et de la chaleur. (DIDI A et YAKOUBI S, 2021)

II.2.1.5. Facteurs influençant la composition chimique des HEs :

La composition chimique des huiles essentielles et leur rendement sont influencés par une multitude de facteurs. Parmi ceux-ci, on compte la variation de température, le niveau d'humidité, la durée d'exposition au soleil, la qualité du sol, le génotype de la plante, son origine géographique,

le moment de la récolte, les méthodes de séchage et leur durée, ainsi que la présence de parasites, de virus et de mauvaises herbes. Chaque élément de ces variables peut significativement modifier la composition finale des huiles essentielles extraites. (DIDI A et YAKOUBI S, 2021)

II.2.1.6. Modes d'extraction des huiles essentielles :

Pour extraire les huiles essentielles, plusieurs techniques peuvent être employées, chacune étant choisie en fonction du type de plante et des caractéristiques physico-chimiques de l'essence. La procédure commence par l'extraction des molécules odorantes de la plante, suivie par leur séparation du mélange par distillation. Voici un résumé des principales méthodes d'extraction des huiles essentielles, illustré dans le schéma suivant (figure 13). (DIDI A et YAKOUBI S, 2021)

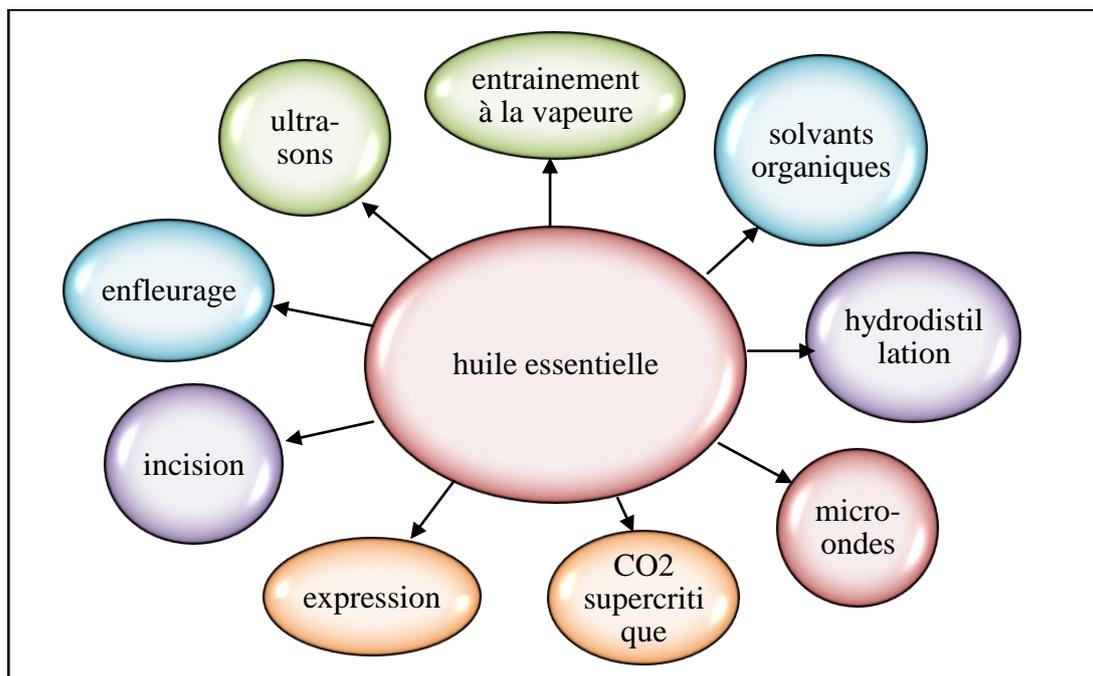


Figure 13 : Modes d'extraction des huiles essentielles
(DIDI A et YAKOUBI S, 2021)

II.2.1.8. Principaux domaines d'application :

a. Aromathérapie :

L'aromathérapie, une forme de médecine alternative, attribue une grande importance aux huiles essentielles en raison de leurs nombreux effets curatifs. Elles sont de plus en plus utilisées dans diverses spécialités médicales telles que la podologie, l'acupuncture, la masso-kinésithérapie, l'ostéopathie, la rhumatologie et l'esthétique (DIDI A et YAKOUBI S, 2021)

b. Agro-alimentaire :

En raison de leurs propriétés antiseptiques et aromatiques, les huiles essentielles sont couramment utilisées dans les préparations culinaires quotidiennes (comme l'ail, le laurier, le thym, etc.). Elles sont également très appréciées dans l'industrie des boissons anisées, comme le kummel, ainsi que

dans la confiserie pour aromatiser des bonbons et du chocolat. Leur pouvoir antioxydant permet également de préserver les aliments en évitant le développement de moisissures. (DIDI A et YAKOUBI S, 2021)

c. Cosmétologie et parfumerie :

Les huiles essentielles sont hautement recherchées dans l'industrie des parfums et des cosmétiques en raison de leurs propriétés odoriférantes. Elles représentent une part significative de la consommation dans l'industrie de la parfumerie (60%). De plus, elles sont utilisées en cosmétologie pour parfumer divers produits tels que les dentifrices, les shampoings, les crèmes solaires, les rouges à lèvres et les savons. Elles sont également utilisées dans les produits d'hygiène, les détergents et les lessives pour masquer les odeurs souvent peu agréables des produits purs. (DIDI A et YAKOUBI S, 2021)

d. Pharmacie :

Les essences végétales sont largement utilisées dans la préparation d'infusions et sous forme de préparations galéniques. Plus de 40% des médicaments sont basés sur des composants actifs de plantes. Par exemple, la gastralgine est un digestif antiacide qui utilise des huiles essentielles. Les propriétés aromatisantes des huiles essentielles sont également utilisées pour masquer les odeurs désagréables des médicaments administrés par voie orale. De nombreux produits pharmaceutiques tels que les collyres, les crèmes et les élixirs sont également basés sur des huiles essentielles. (DIDI A et YAKOUBI S, 2021)

II.2.2. LES POLYPHENOLS :

II.2.2.1. Définitions :

Les polyphénols sont des substances solubles dans l'eau avec une structure phénolique, dont le poids moléculaire varie entre 500 et 3000 Dalton. En plus des caractéristiques communes aux phénols, ils ont la capacité de précipiter des alcaloïdes, de la gélatine et d'autres protéines. Ces molécules organiques sont omniprésentes dans les plantes et se distinguent par plusieurs groupes phénoliques, comme leur nom l'indique, pouvant avoir différentes fonctions. On en connaît au moins 8000 structures différentes, allant des acides phénoliques simples, avec un faible poids moléculaire, aux composés très polymérisés tels que les tannins. Les polyphénols sont des substances solubles dans l'eau avec une structure phénolique, dont le poids moléculaire varie entre 500 et 3000 Dalton. En plus des caractéristiques communes aux phénols, ils ont la capacité de précipiter des alcaloïdes, de la gélatine et d'autres protéines. Ces molécules organiques sont omniprésentes dans les plantes et se distinguent par plusieurs groupes phénoliques, comme leur nom l'indique, pouvant avoir différentes fonctions. On en connaît au moins 8000 structures différentes, allant des acides phénoliques simples, avec un faible poids moléculaire, aux composés très polymérisés tels que les tannins. On distingue :

- ✓ Les acides phénoliques de type benzoïques ou cinnamiques
- ✓ Les flavonoïdes (Flavanols, Flavonoïdes, Chalcones et dihydrochalcones, anthocyanidines et tanins condensés)
- ✓ Les stilbènes
- ✓ Les lignines et subérines **(BOUKROUFA M, 2016)**

II.2.2.2. Les polyphénols dans les agrumes :

Les flavonoïdes sont les principaux composés phénoliques présents dans les agrumes. Ce groupe, comprenant plus de 6000 composés naturels, est presque omniprésent chez les plantes vasculaires. Ils possèdent une structure de base de quinze atomes de carbone, composée de deux anneaux aromatiques et d'un hétérocycle central de type pyranne, formant une structure C6-C3-C6. **(BOUKROUFA M, 2016)**

Il existe diverses classes de flavonoïdes, parmi lesquelles on trouve les flavones, les flavonols, les flavan-3-ols, les isoflavones, les flavanones et les anthocyanidines. La structure de base de ces flavonoïdes peut être modifiée par de nombreuses substitutions, les groupes hydroxyles se trouvant généralement en positions 4, 5 et 7. Ces composés se présentent habituellement sous forme de glycosides. **(BOUKROUFA M, 2016)**

a. Les flavonols :

Les flavonols se caractérisent par un groupement OH en position C3 et une double liaison en C2-C3 (figure 14). Ils existent soit sous forme d'aglycones, soit sous forme d'hétérosides, les sucres impliqués étant principalement des aldoses comme le D-glucose et le L-rhamnose. Parmi les flavonols les plus connus, on trouve la quercétine, le kaempférol et la rutine. Ils sont présents dans des fruits comme les fraises et les pommes, ainsi que dans des légumes tels que le chou, les oignons et les épinards. On les trouve également en grande quantité dans le thé, avec une concentration de 45 mg.L⁻¹. Les flavonols ont la capacité de stimuler la synthèse des cellules angiogéniques, essentielles pour maintenir et régénérer les vaisseaux sanguins. En outre, ils possèdent des propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires remarquables. **(BOUKROUFA M, 2016)**

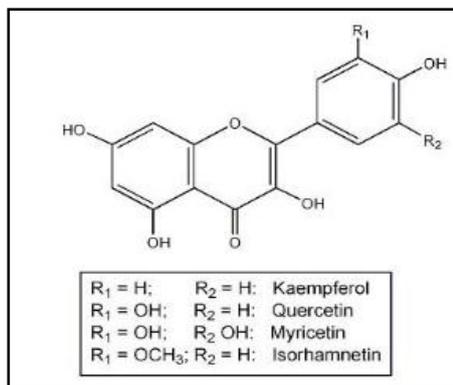


Figure 14 : Structures chimiques de certains flavonols. [7]

b. Les Flavan-3-ols :

Les flavan-3-ols, également appelés dérivés de la catéchine, sont parmi les flavonoïdes les plus complexes. Les isomères les plus répandus sont la (+)-catéchine et la (-)-épi-catéchine (figures 15 et 16). Ces composés peuvent subir une estérification avec de l'acide gallique ou une hydroxylation pour produire des gallo-catéchines, telles que l'épi-catéchine gallate, l'épi-gallo-catéchine et l'épi-gallo-catéchine gallate. On trouve les catéchines dans des produits comme le chocolat et le thé noir, ainsi que dans certains fruits, notamment les abricots. (BOUKROUFA M, 2016)

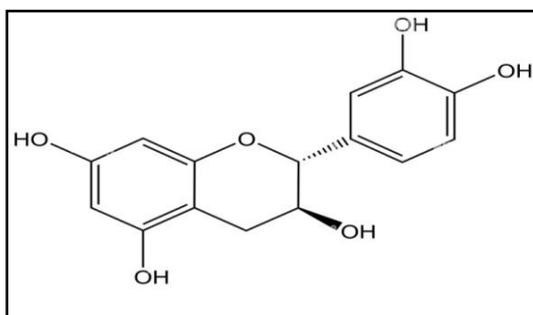


Figure 15 : Structure chimique de la (+)-catéchine [8]

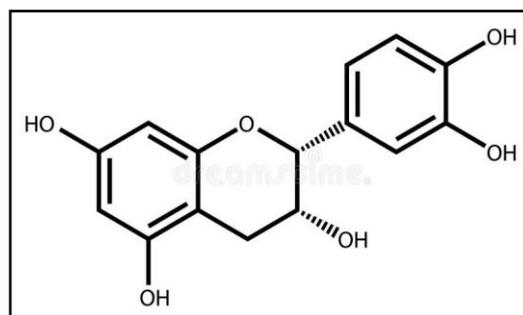


Figure 16 : Structure chimique de la (-)-épi-catéchine [9]

c. Les anthocyanidines :

Les anthocyanidines sont des pigments solubles dans l'eau, possédant douze structures différentes. Elles se distinguent par la répartition des groupes hydroxyles ou méthoxy sur le deuxième noyau, ce qui influence leur couleur. En général, la présence de groupes hydroxyles intensifie la teinte bleue du pigment, tandis que les groupes méthoxy augmentent la teinte rouge. Les anthocyanidines les plus communes sont la pélagonidine, la cyanidine (figure 17) et la malvidine (figure 18). On les trouve dans le vin rouge, où la concentration de malvidine 3-O-glucoside varie entre 340 et 420 mg.L⁻¹. (BOUKROUFA M, 2016)

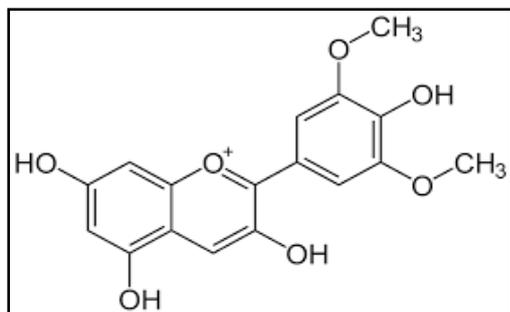


Figure 17 : Structure chimique de la malvidine (BOUKROUFA M, 2016)

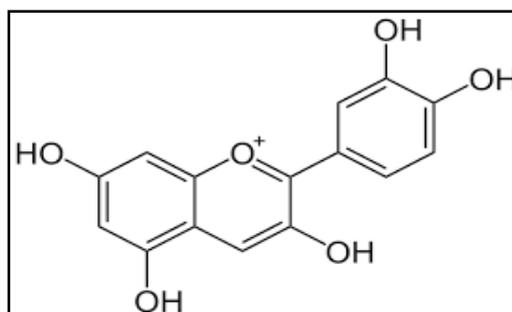


Figure 18 : Structure chimique de la cyanidine (BOUKROUFA M, 2016)

d. Les flavanones :

Les flavanones se définissent par l'absence de double liaison entre les atomes de carbone C2 et C3, ainsi que par la présence d'un centre de chiralité en C2. Ces composés se trouvent principalement dans les agrumes. Les principaux aglycones incluent l'ériodictyol dans les citrons, la naringénine dans les pamplemousses, et à la fois l'hespéritine et la naringénine dans les oranges (figure 19). (BOUKROUFA M, 2016)

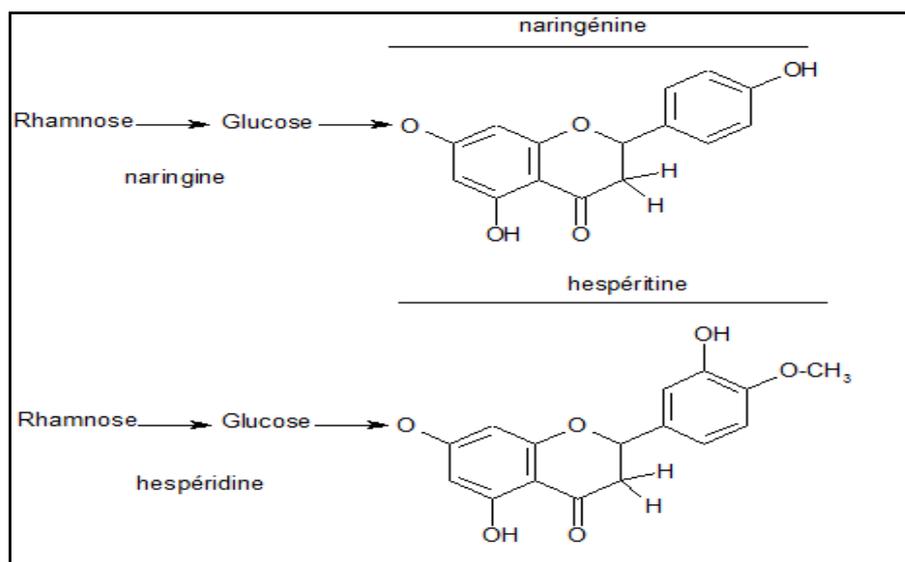


Figure 19 : Structure chimique de quelques flavanones [10]

II.2.2.3. Rôle et intérêt des composés phénoliques :

A. Propriétés anti-oxydantes :

Les propriétés antioxydantes des polyphénols sont principalement attribuables à leurs noyaux phénoliques. En raison de la présence de groupements hydroxyles chimiquement liés à ces noyaux benzéniques, les polyphénols dérivés des plantes offrent des capacités antioxydantes cruciales. Un apport adéquat en antioxydants est associé à une réduction des dommages oxydatifs à l'ADN,

aux glucides et à la peroxydation des acides gras polyinsaturés. Ces dommages oxydatifs sont souvent des initiateurs de processus pathologiques tels que le cancer (lié à l'oxydation de l'ADN) et les maladies vasculaires (liées à l'oxydation des lipoprotéines de basse densité ou LDL). Les études expérimentales, qu'elles soient animales, cellulaires ou expérimentales, sur ces composés organiques ont permis de formuler des hypothèses sur le rôle potentiel de ces antioxydants, présents notamment dans certains aliments, dans l'incidence de cancers spécifiques, de maladies cardiovasculaires et de pathologies dégénératives (BOUKROUFA M, 2016)

B. Propriétés anti cancérogène :

Les polyphénols extraits des agrumes sont reconnus pour leur innocuité totale et leur absence de toxicité. Un pourcentage important des cas de cancer dans le monde, jusqu'à 35 %, est attribuable à une alimentation inadéquate, avec une implication particulièrement forte dans le cancer du côlon, où le régime alimentaire peut jouer un rôle crucial dans jusqu'à 80 % des cas. Les flavonoïdes présents dans les agrumes agissent comme régulateurs des tyrosine kinases, ce qui en fait des candidats importants pour le développement de traitements anticancéreux.

Par exemple, l'hespéridine, présente dans divers jus d'agrumes, a montré une activité significative dans l'inhibition de la croissance des cellules cancéreuses. Des études récentes menées par Hwang et ses collègues ont examiné comment les flavonoïdes des agrumes pouvaient prévenir la carcinogenèse chez les hamsters, suggérant que des composés tels que l'hespéretine, la néohespéretine, la tangéretine et la nobiletine avaient peu d'effet, tandis que la naringine et la naringénine ont montré des résultats prometteurs. De plus, les flavonoïdes dérivés des agrumes ont démontré une capacité significative à inhiber la croissance des cellules cancéreuses du foie humain, leurs effets variant en fonction de la dose administrée. (BOUKROUFA M, 2016)

C. Les maladies cardiaques et cardio-vasculaires coronariennes :

Il existe des recherches cliniques examinant l'impact des jus d'agrumes sur la tension artérielle comme traitement contre l'hypertension. Selon El-Shafae et ses collègues, l'hespéridine et la diosmine pourraient présenter une efficacité dans le traitement de l'insuffisance veineuse chronique, des hémorroïdes chroniques et des ulcères veineux aux jambes. Une coagulation sanguine inadéquate, comme la thrombose, est étroitement associée à l'athérosclérose dans le développement des maladies cardiovasculaires, où une prévention efficace pourrait réduire les épisodes cardiovasculaires mortels. L'utilisation des polyphénols d'agrumes pour prévenir ces conditions cliniques constitue une alternative aux effets secondaires des traitements traditionnels utilisés à cet effet. (BOUKROUFA M, 2016)

D. Le métabolisme des lipides et de l'obésité :

L'eriocitrine et l'hespéretine ont démontré une influence significative sur la réduction du cholestérol chez des rats présentant des niveaux élevés de cholestérol. Plus récemment, des recherches ont

indiqué que les flavones polyméthoxylées (PMF) réduisent le taux de cholestérol dans le sang à des doses plus faibles que celles nécessaires pour les flavanones comme l'hespérétine. (BOUKROUFA M, 2016)

II.2.3. LES CAROTENOÏDES :

II.2.3.1. Définition :

Les caroténoïdes sont des pigments formés par la liaison de plusieurs unités d'hydrocarbures. Ils sont produits par tous les organismes photosynthétiques, certaines bactéries non photosynthétiques et les champignons. Ces pigments se composent de huit unités isopréniques qui sont agencées d'une manière spécifique, avec une organisation centrale inversée. Dans les plantes, ils peuvent être trouvés à l'état libre ou estérifiés avec des acides gras. L'estérification modifie les propriétés des caroténoïdes en fonction du type d'acide auquel ils sont liés. Ce processus est un mécanisme biologique naturel destiné à protéger les triglycérides, les lipides insaturés et d'autres composés sensibles à la lumière de la photo-oxydation. Il facilite également le stockage des caroténoïdes en aidant à intégrer ces molécules hautement lipophiles dans les lipides. (BOUKROUFA M, 2016)

II.2.3.2. Classification :

En fonction de leurs structures chimiques, ils peuvent être divisés en (tableau 8) :

Type de caroténoïde	Structure	Exemple
Carotènes acycliques	formés par une chaîne carbonée linéaire	le zéta-Carotène, le Phytoène, le Lycopène (rouge), le Neurosporène, et le Phytofluène
Carotènes cycliques	contenant une ou deux structures cycliques	l' α -Carotène (orange), le β -Carotène (orange), le γ -Carotène (orange), le δ -Carotène, l' α - Zéacarotène, et le β -Zéacarotène.
Hydroxy-caroténoïdes	contenant au moins un groupe hydroxyle (xanthophylles)	l' α -Cryptoxanthine (jaune), la β -Cryptoxanthine (orange), la Lutéine (jaune), la Lycophile, la Lycoxanthine, la Rubixanthine, la Zéaxanthine (jaune-orange), et la Zéinoxanthine
Epoxy-caroténoïdes	contenant au moins un groupe époxy (xanthophylles)	l'Anthéroxanthine, l'Auroxanthine, le β -Carotène-5,6-époxyde, la Lutéine-5,6-époxyde, la Lutéoxanthine, la Néoxanthine, et la Violaxanthine (jaune).
Les	sont une autre classe de caroténoïdes	la vitamine A, l'acide abscisic, la bixine, la

apocaroténoïdes	contenant répandus dans la nature et avec des structures extrêmement différentes moins de 40 atomes de carbone, très	crocétine, et le trans- β -apo-8'-caroténal.
------------------------	--	--

Tableau 8 : classification des caroténoïdes en fonction de leurs structures
(BOUKROUFA M, 2016)

II.2.3.3. Propriétés des Caroténoïdes :

Les caroténoïdes sont des pigments dont la structure chimique contient de nombreuses doubles liaisons conjuguées, ce qui leur confère des propriétés antioxydantes remarquables. Bien qu'ils partagent des similitudes structurales, chaque caroténoïde possède des fonctions biologiques spécifiques. Par exemple, certains caroténoïdes peuvent se transformer en vitamine A (rétinol) par dégradation oxydative, une vitamine essentielle pour la vision.

La découverte par Moore en 1930 que le β -carotène pouvait être converti en vitamine A dans l'organisme a ouvert la voie à de nombreuses études sur d'autres caroténoïdes, tels que l' α -carotène et la β -cryptoxanthine (figure 20). Une carence en vitamine A peut provoquer divers problèmes de santé, notamment des troubles visuels comme la cécité nocturne et la xérophtalmie, ainsi qu'une diminution de la fonction immunitaire, augmentant le risque d'infections respiratoires, gastro-intestinales, et de la rougeole, en plus de contribuer aux maladies cardiovasculaires, à la dégénérescence maculaire liée à l'âge et aux cataractes. (BOUKROUFA M, 2016)

Certains caroténoïdes, comme le lycopène, la lutéine, la zéaxanthine et la cryptoxanthine, ont montré une capacité à stimuler le système immunitaire et à inhiber la croissance tumorale dans divers types de cellules. Le β -carotène et le lycopène sont également reconnus pour leur efficacité à neutraliser l'oxygène singulet, une forme toxique de l'oxygène, offrant ainsi une protection aux membranes lipidiques. De plus, ces composés peuvent interagir avec les radicaux libres lipidiques, inhibant ainsi la peroxydation des lipides. (BOUKROUFA M, 2016)

Les caroténoïdes jouent aussi un rôle important dans la gestion de l'obésité. Par exemple, Maeda et ses collègues ont démontré que la fucoxanthine, un caroténoïde, pouvait réduire significativement le tissu adipeux chez les rats et les souris. De plus, l'effet combiné de la fucoxanthine et de l'huile de poisson s'est avéré plus efficace pour réduire la prise de poids. De manière similaire, Ikeuchi et al.

ont découvert que l'astaxanthine pouvait empêcher l'augmentation de la masse grasse, des triglycérides hépatiques, des triglycérides plasmatiques et du cholestérol total chez des sujets soumis à un régime riche en graisses. (BOUKROUFA M, 2016)

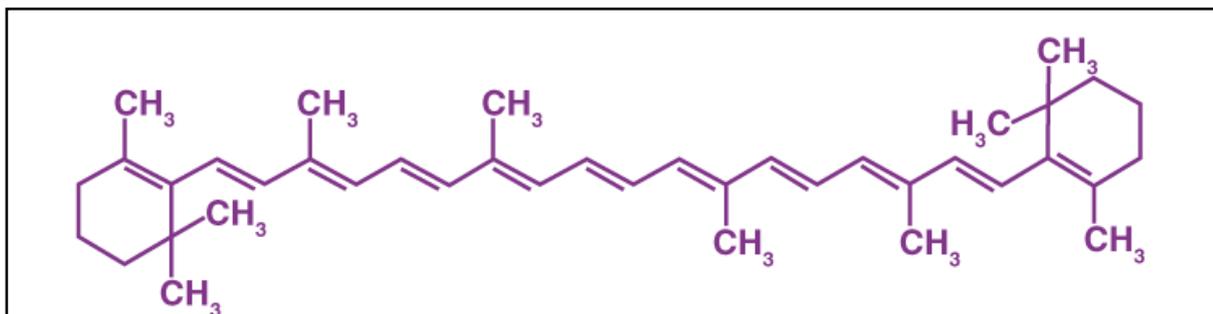


Figure 20 : Structure du β -carotène [11]

II.2.4. LES PECTINES :

II.2.4.1. Définition :

Les pectines sont des substances présentes dans tous les végétaux, principalement situées dans la lamelle moyenne et la paroi primaire des cellules. Elles jouent un rôle essentiel en assurant la rigidité et la cohésion des cellules végétales. La première extraction de pectine a été réalisée en 1825 par le Français J. Braconnot, qui a nommé cette substance d'après le mot grec "pektos," signifiant ferme ou rigide. Aujourd'hui, les pectines sont principalement obtenues à partir de sous-produits de l'industrie du jus de fruits, comme le marc de pomme et l'albedo des agrumes, qui sont les principales sources industrielles. (BOUKROUFA M, 2016)

II.2.4.2. Structure :

La pectine est un polysaccharide constitué d'une chaîne linéaire d'acides D-galacturoniques reliés par des liaisons glycosidiques α (1-4) (figure 21). Dans cette chaîne principale, des sucres neutres tels que l'arabinose, le galactose, le xylose, le rhamnose et le glucose s'insèrent également, se liant aux groupes hydroxyles secondaires (C2 ou C3), ce qui cause une irrégularité de la structure. Ces sucres supplémentaires se trouvent souvent dans des zones dites «chevelues». En outre, des groupes acétyles sont fixés aux fonctions hydroxyles C2 ou C3. (BOUKROUFA M, 2016)

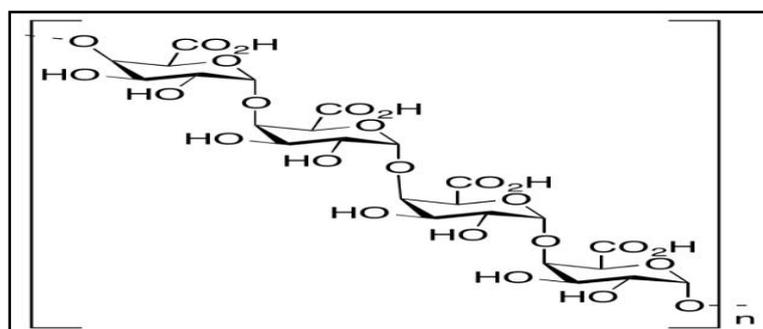


Figure 21 : Structure de la pectine [12]

II.2.3.3. Propriétés thérapeutiques :

Divers chercheurs ont mis en évidence que les pectines issues des agrumes, des pommes, des pommes de terre et des patates douces possèdent des effets anti-tumoraux. Les mécanismes par lesquels la pectine alimentaire exerce ses effets anti-tumoraux sont liés à ses activités pro-biotique,

immunomodulatrice, inhibitrice de la croissance tumorale et anti-mutagène. Ces mécanismes ont des impacts spécifiques sur les cellules coliques et sur l'activité immunologique cellulaire. Ces effets peuvent être optimisés en combinant cette fibre avec un agent chimioprotecteur alimentaire, comme l'huile de foie de morue. **(BOUKROUFA M, 2016)**

La plupart des études sur les effets anti-tumoraux des pectines alimentaires se sont focalisées sur le cancer colorectal, examinant comment leurs mécanismes sont en relation directe ou indirecte avec l'activité pro-biotique. Les oligosaccharides dérivés de la pectine inhibent la prolifération des microbiotes nocifs dans le côlon tout en stimulant celle des probiotiques, tels que les bifidobactéries et les lactobacilles. Les pectines alimentaires, fermentées dans le côlon, se transforment en acides gras à chaîne courte, tels que le butyrate, qui neutralise les microbiotes intestinaux. **(BOUKROUFA M, 2016)**

En dehors de leurs propriétés anti-cancéreuses, les oligosaccharides pectiques présentent également des effets protecteurs sur le système cardiovasculaire, réduisent les dommages causés par les métaux lourds et offrent des bénéfices anti-obésité, anti-toxiques, anti-infectieux, antibactériens et antioxydants. **(BOUKROUFA M, 2016)**

MATÉRIELS ET
MÉTHODES

Partie I : L'étude
morphométrique

1. Description de la zone d'étude

L'échantillonnage de l'étude a été effectué dans l'ouest algérien, couvrant dix exploitations de l'oranger (*Citrus sinensis* L.) distinctes (Tableaux 9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19). Ces exploitations, réparties sur diverses zones agro écologiques de la région ; plus précisément 7 exploitations dans la wilaya de TLEMCEN, une seule exploitation dans chacune des wilaya suivantes : ORAN, MASCARA et RELIZANE (Figure22)

✓ Exploitation 1 HENNAYA TLEMCEN :

Exploitation	Ferme de MONSIEUR HOUARI	
✓ Localisation	MEKKETEM, commune de HENNAYA, wilaya de TLEMCEN, nord-ouest de l'Algérie	
✓ Coordonnées de commune de HENNAYA	Latitude : 34.95° Nord Longitude : -1.36667° Ouest 34° 57' 0" Nord et 1° 22' 0" Ouest	
✓ Altitude	429mètres au-dessus du niveau de la mer	
✓ Climat	semi-aride sec et froid, selon la classification de Köppen (BSk), caractérisé par des hivers froids et des étés secs.	
✓ Superficie de la ferme	2 hectares	
✓ Nombre d'arbres	35 arbres d'oranger doux	
✓ Espace entre les arbres	5 mètres	
✓ Le porte-greffe	greffés sur le bigaradier	
✓ Irrigation	L'eau de puits avec un système d'irrigation gravitaire «irrigation par rigoles »	
✓ Engrais	Naturels : fèces d'ovins et des poules	Chimiques : NPK 15.15.15
✓ Maladies	Les pucerons, acarien des agrumes, les mouches blanches (les aleurodes)	
✓ Traitements	Methoate, Bactimec pour les acariens	

Tableau 9: informations sur l'exploitation S1 TL HENNAYA

✓ Exploitation 2 REMCHI TLEMCEN :

Exploitation	Ferme de BENYEDDIN OKACHA	
✓ Localisation	OUED YESSER, commune de REMCHI, wilaya de TLEMCEN, nord-ouest de l'Algérie	
✓ Coordonnées de commune de REMCHI	Latitude : 35.05° Nord Longitude : -1.43333° Ouest 35° 3' 0" Nord, 1° 25' 60" Ouest	
✓ Altitude	213 mètres au-dessus du niveau de la mer	
✓ Climat	Semi-aride sec et froid (classification de Köppen : BSk Caractérisé par des hivers frais et des étés secs)	
✓ Superficie de la ferme	8 hectares	

✓ VNombre d'arbres	112 arbres d'oranger doux
✓ Espace entre les arbres	3 mètres
✓ Le porte-greffe	greffés sur le bigaradier
✓ Irrigation	Eau de barrage avec un système de micro-irrigation « goutte-à-goutte »
✓ Engrais	Naturels : fèces d'ovins Chimiques : NPK 15.15.15
✓ Maladies	Mineuse, acarien des agrumes, champignons des feuilles
✓ Traitements	ZORO pour l'acarien des agrumes

Tableau 10 : informations sur l'exploitation S2 TL REMCHI

✓ **Exploitation 3 ORAN MISSERGHIN:**

Exploitation	Ferme de MONSIEUR HMIMED
✓ Localisation	commune de MISSERGHIN, wilaya d'ORAN, nord-ouest de l'Algérie
✓ Coordonnées de commune de MISSERGHIN	Latitude : 35.6199 Nord Longitude : -0.729912° Ouest 35° 37' 12" Nord et 0° 43' 48" Ouest
✓ Altitude	125 mètres au-dessus du niveau de la mer.
✓ Climat	semi-aride sec et froid, caractérisé par des hivers frais et des étés chauds et secs, selon la classification climatique de Köppen (BSk)
✓ Superficie de la ferme	2 hectares
✓ Nombre d'arbres	45 arbres d'oranger doux
✓ Espace entre les arbres	4 mètres
✓ Le porte-greffe	greffés sur le bigaradier
✓ Irrigation	Eau de puits avec un système de micro-irrigation « goutte-à-goutte »
✓ Engrais	Naturels : fèces d'ovins et bovins Chimiques : NPK 15.15.15 et l'azote 46
✓ Maladies	la gombose des agrumes, acarien des agrumes
✓ Traitements	Decis, sulfate de cuivre

Tableau 11 : informations sur l'exploitation S1 OR MISSERGHIN

✓ **Exploitation 4 au OUED EL DJEMAA RELIZANE :**

Exploitation	Ferme de MONSIEUR LAZRAG
✓ Localisation	commune d'OUED EL DJEMAA, wilaya de RELIZANE, nord-ouest de l'Algérie
✓ Coordonnées de commune de	Latitude : 35.7972 Nord Longitude : 0.68141 Est 35° 47' 50" Nord et 0° 40' 53" Est
✓ Altitude	70 mètres au-dessus du niveau de la mer.
✓ Climat	méditerranéen avec des étés chauds, selon la classification de Köppen (Csa).
✓ Superficie de la ferme	8 hectares
✓ Nombre d'arbres	120 arbres d'oranger doux THOMSON
✓ Espace entre les arbres	4 mètres

✓ Le porte-greffe	greffés sur le bigaradier
✓ Irrigation	Eau de puits avec un système de micro-irrigation « goutte-à-goutte »
✓ Engrais	Chimiques : NPK 15.15.15 Naturel : fèces d'ovins
✓ Maladies	acarien des agrumes, champignons des feuille
✓ Traitements	

Tableau 12 : informations sur l'exploitation S1 GHI OUAD EL DJAMAA

✓ **Exploitation 5 BOU HENNI MASCARA :**

Exploitation	Ferme de MONSIEUR AHMED
✓ Localisation	commune de BOU HENNI située dans la wilaya de MASCARA, nord-ouest de l'Algérie
✓ Coordonnées de commune de BOU HENNI	Latitude : 35.5605° Nord Longitude : 0.0843287° Ouest 35° 33' 38" Nord et 0° 5' 4" Ouest.
✓ Altitude	29 mètres au-dessus du niveau de la mer.
✓ Climat	semi-aride sec et chaud, classé BSh selon la classification climatique de Köppen, caractérisé par des températures élevées et des précipitations limitées.
✓ Superficie de la ferme	1 hectare
✓ Nombre d'arbres	23 arbres d'oranger doux THOMSON
✓ Espace entre les arbres	4 mètres
✓ Le porte-greffe	greffés sur le bigaradier
✓ Irrigation	L'eau de puits avec un système d'irrigation gravitaire « irrigation par rigoles »
✓ Engrais	Chimiques : AZOTE 46 Naturel : fèces des animaux
✓ Maladies	Les cochenilles, acarien des agrumes, la mineuse
✓ Traitement	methoate 40 EC, decis, sulfate de cuivre, Romectin

Tableau 13 : informations sur l'exploitation S1 MSC BOU HENNI

✓ **Exploitation 6 HAMMAM BOUGHRARA, MAGHNIYA TLEMCEN :**

Exploitation	Ferme de BOU NA'IM
✓ Localisation	commune de HAMMAM BOUGHRARA située dans la wilaya de TLEMCEN, nord-ouest de l'Algérie
✓ Coordonnées	Latitude : 34.8937 ° Nord Longitude : -1.63941 ° Ouest 34° 53' 37" Nord et 1° 38' 22" Ouest.
✓ Altitude	253 mètres au-dessus du niveau de la mer.
✓ Climat	méditerranéen avec des étés chauds, classé sous la classification de Köppen comme Csa (un climat tempéré avec des étés chauds et secs, typique des régions méditerranéennes.).
✓ Superficie de la ferme	4 hectares
✓ Nombre d'arbres	65 arbres d'oranger doux THOMSON
✓ Espace entre les arbres	5 mètres

✓ Le porte-greffe	greffés sur le bigaradier
✓ Irrigation	L'eau de puits avec un système d'irrigation gravitaire «irrigation par rigoles »
✓ Engrais	Chimiques : NPK 15.15.15
✓ Maladies	acarien des agrumes,

Tableau 14 : informations sur l'exploitation S3 MGH1 BOU NA'IM

✓ **Exploitation 7 NEDROMA TLEMCEN :**

Exploitation	exploitation de GAOUAR
✓ Localisation	commune de NEDROMA située dans la wilaya de TLEMCEN, nord-ouest de l'Algérie
✓ Coordonnées	Latitude : 35.0131° Nord Longitude : -1.74753° Ouest. 35° 0' 47" Nord et 1° 44' 51" Ouest.
✓ Altitude	356 mètres au-dessus du niveau de la mer.
✓ Climat	semi-aride sec et froid, classé BSk selon la classification climatique de Köppen, caractérisé par des hivers frais et des étés secs.
✓ Superficie de la ferme	13 hectare
✓ Nombre d'arbres	250 arbres d'oranger doux THOMSON
✓ Espace entre les arbres	6 mètres
✓ Le porte-greffe	greffés sur le bigaradier
✓ Irrigation	L'eau de puits avec un système d'irrigation gravitaire «irrigation par rigoles »
✓ Engrais	Chimiques : NPK 15.15.15
✓ Maladies	acarien des agrumes,

Tableau 15 : informations sur l'exploitation S4 NED GAOUR

✓ **Exploitation 8 MAGHNIYA TLEMCEN :**

Exploitation	Ferme de ZELAGH KAMEL
✓ Localisation	commune de aoulad kadour, maghniya wilaya de TLEMCEN, nord-ouest de l'Algérie
✓ Coordonnées de commune MAGHNIYA	Latitude : 34.648 ° Nord Longitude : -1.75299 ° Ouest 34° 38' 53" Nord et 1° 45' 11" Ouest.
✓ Altitude	681 mètres au-dessus du niveau de la mer
✓ Climat	méditerranéen avec des étés chauds, conformément à la classification de Köppen (Csa).
✓ Superficie de la ferme	4 hectares
✓ Nombre d'arbres	100 arbres d'oranger doux
✓ Espace entre les arbres	3 mètres
✓ Le porte-greffe	greffés sur le VOLKAMERIANA
✓ Irrigation	Eau de puits avec un système de micro-irrigation « goutte-à-goutte »

✓ Engrais	Naturels : Foliaire fertilisation les feuilles et les branches des arbres sont broyées et mélangées à l'eau d'irrigation	Chimiques : NPK 15.15.15
-----------	---	---------------------------------

Tableau 16 : informations sur l'exploitation S5 MGH2 ZELAGH KAMEL

✓ **Exploitation 9 MAGHNIYA TLEMCEN :**

Exploitation	Ferme de CHARKAOUI L'AID	
✓ Localisation	commune de maghniya wilaya de TLEMCEN, nord-ouest de l'Algérie	
✓ Coordonnées	Latitude : 34.8617 ° Nord Longitude : -1.73055° Ouest 34° 51' 42" Nord et 1° 43' 50" Ouest	
✓ Altitude	une moyenne de 495 mètres au-dessus du niveau de la mer	
✓ Climat	Le climat y est méditerranéen avec des étés chauds, conformément à la classification de Köppen (Csa).	
✓ Superficie de la ferme	8 hectares	
✓ Nombre d'arbres	100 arbres d'oranger doux	
✓ Espace entre les arbres	6 mètres	
✓ Le porte-greffe	greffés sur le bigaradier	
✓ Irrigation	Eau de puits avec un système de micro-irrigation « goutte-à-goutte »	
✓ Engrais	Naturels : fèces d'ovins	Chimiques : NPK 15.15.15
✓ Maladies	Gommose, acarien des agrumes, alternariose, mineuse	
✓ Traitements	ZORO pour l'acarien des agrumes	

Tableau 17 : informations sur l'exploitation S6 MGH3 CHARKAOUI L'AID

✓ **Exploitation 10 OULED SLIMEN DJEBALA TLEMCEN:**

Exploitation	Ferme de Monsieur MOHAMMED	
✓ Localisation	commune de OULED SLIMEN DJEBALA wilaya de TLEMCEN, nord-ouest de l'Algérie	
✓ Coordonnées DJEBALA	Latitude : 34.9764° Nord Longitude : -1.79506° Ouest 34° 58' 35" Nord et 1° 47' 42" Ouest.	
✓ Altitude	597 mètres au-dessus du niveau de la mer	
✓ Climat	climat semi-aride sec et froid, classé BSk selon la classification climatique de Köppen, caractérisé par des hivers frais et des étés secs	
✓ Superficie de la ferme	4 hectares	
✓ Nombre d'arbres	60 arbres d'oranger doux	
✓	5 mètres	
✓ Le porte-greffe	greffés sur le bigaradier	

✓ Irrigation	Eau de puits avec un système de micro-irrigation « goutte-à-goutte »	
✓ Engrais	Naturels : fèces d'ovins	Chimiques : NPK 15.15.15
✓ Maladies	acarien des agrumes	

Tableau 18 : informations sur l'exploitation S6 MGH3 CHARKAOU L'AID

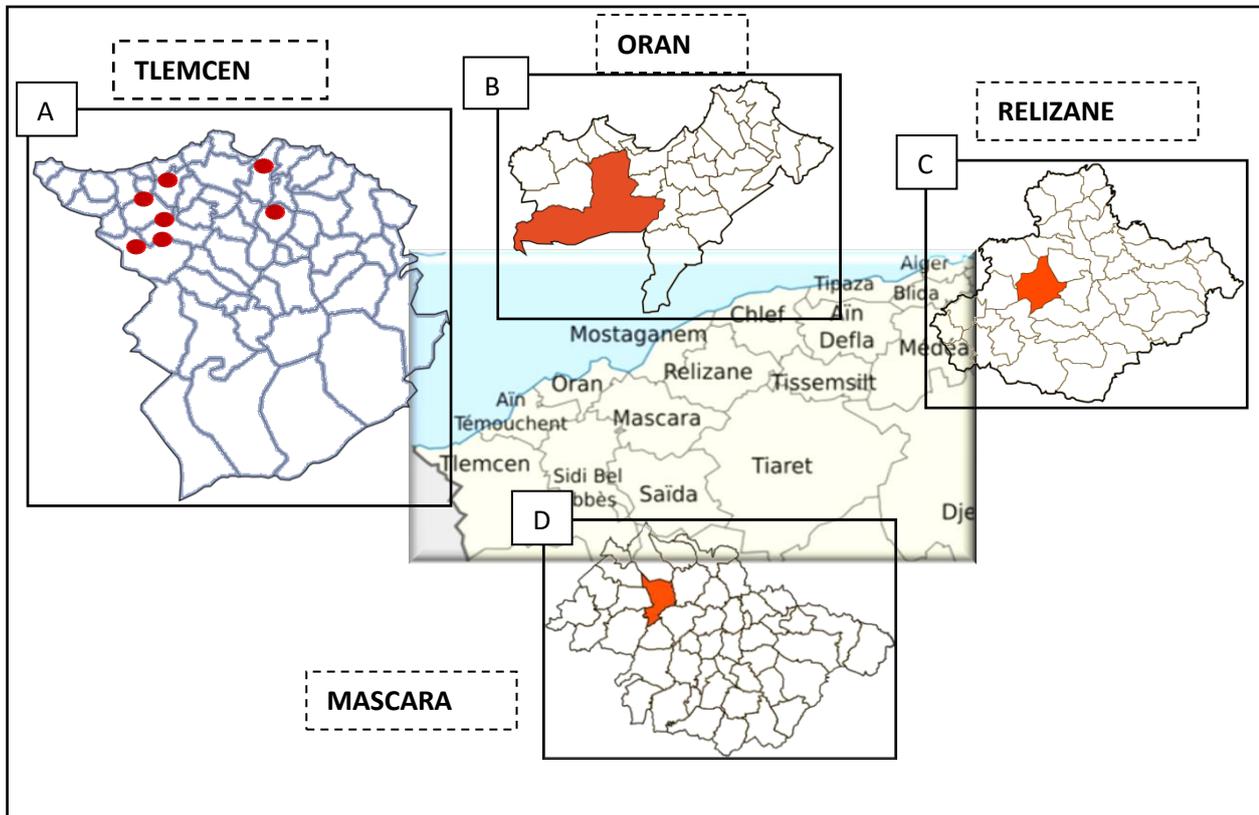


Figure 22: la zone d'étude indiquant les 4 wilayas de travail ; **A** : la wilaya de Tlemcen avec 7 sites
B : la wilaya d'ORAN (1 site), **C** : la wilaya de RELIZANE (1 site), **D** : la wilaya de MASCARA (1 site)

2. Description de le matériel végétale :

Le matériel végétal utilisé dans cette étude provient de l'oranger doux (*Citrus sinensis* L.), spécifiquement de ses feuilles et de ses fruits. La récolte a été effectuée manuellement à l'aide d'une cisaille à saute. **Figure 23**



Figure 23 : ciseaux à saute pour la récolte d'échantillon, **photo originale 2024**

au cours de la période de fin de mois de janvier et de mis février (du 27 JANVIER AU 16 FEVRIER 2024) dans les dix vergers décrits au dessus (**Tableaux 9,10,11,12,13,14,15,16,17,18**). Les fruits, soigneusement sélectionnés, étaient parfaitement mûrs et exempts de toute blessure ou infection. **Figure 24**



Figure 24 : Arbre d'oranger doux au moment de l'échantillonnage, **photo originale 2024**

L'échantillonnage a été réalisé dans les dix exploitations agricoles selon la méthode suivante :

Dans chacune de ces exploitations, dix arbres d'oranger doux (*Citrus sinensis* L.) ont été sélectionnés. Pour chaque arbre, entre quatre et cinq fruits de type Thomson et quinze feuilles ont été prélevés. Les arbres choisis étaient stratégiquement situés à la fois en bordure des exploitations et au milieu aussi **figure 25**, afin de garantir un échantillon représentatif, une attention particulière a été portée à prélever les échantillons de fruits et de feuilles à la fois du centre et des bordures des arbres

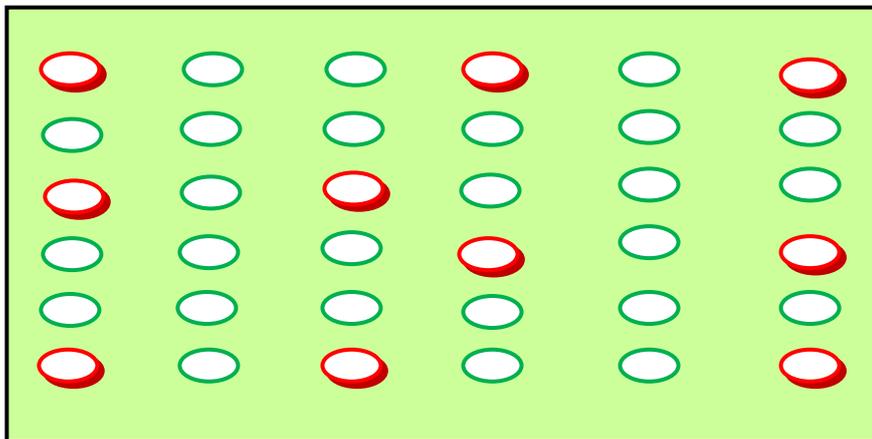


Figure 25 : exemple de la stratégie de choix des arbres à échantillonné

Pour chaque arbre échantillonné, cinq fruits de type Thomson ont été placés dans un sac en plastique **Figure 26**, tandis que quinze feuilles de l'arbre ont été collectées et conservées dans un sac en papier **Figure 27**. L'échantillon total de notre étude est constitué de 477 fruits et de 1500 feuilles. Cette composition nous permet d'avoir une base solide et représentative pour les analyses et les observations nécessaires, garantissant ainsi des résultats fiables et exhaustifs sur les caractéristiques des fruits et des feuilles étudiés.

Chaque sac, qu'il contienne des fruits ou des feuilles, a été étiqueté avec un code ou un matricule spécifique. Ce système de codage identifie la région de récolte ainsi que le numéro de l'arbre **Figure 28**, permettant un suivi précis des échantillons et facilitant l'analyse des données en relation avec les différentes variables environnementales et géographiques.



Figure 26 : les sacs en plastique utilisé pour l'échantillonnage des fruits



Figure 27 : les sacs en papier utilisé pour l'échantillonnage des feuilles



Figure 28 : système de codage **photo originale 2024**

3. Préparation de la matière végétale :

Après l'échantillonnage, chaque fruit et feuille a été codé individuellement **Figure 29**. Ce codage inclut des informations sur la région de récolte, le numéro de l'arbre, ainsi qu'un identifiant unique pour chaque fruit et feuille. Ce système permet de tracer chaque échantillon avec précision, facilitant ainsi la caractérisation des échantillons et l'analyse des données



Figure 29 : le codage individuel des fruits **photo originale 2024**

Après l'échantillonnage, les fruits ont été immédiatement pesés à l'aide d'une balance **Figure 30**, afin de minimiser toute perte de poids due au stress lors du transport. Cette précaution vise à garantir l'exactitude des données de poids des fruits, qui pourraient être affectées par des facteurs extérieurs si la pesée était retardée



Figure 30 : balance utilisé pour le pesage des fruits **photo originale 2024**

Les fruits, ils ont été soigneusement lavés à l'eau du robinet pour éliminer toute trace de poussière et d'impuretés de surface. Cette étape est essentielle pour garantir que l'analyse ultérieure des huiles extraites ne soit pas biaisée par des contaminants externes, permettant ainsi une évaluation plus précise de ses caractères.

Après la caractérisation des fruits et des feuilles selon **les tableaux 19,20**, les fruits de chaque exploitation ont été râpés ensemble pour recueillir leurs zestes d'orange. Ces zestes ont été placés dans des sacs en plastique stériles **Figure 31** et stockés au congélateur pour préserver leurs qualités jusqu'à l'extraction des huiles essentielles, Chaque huile extraite sera ensuite codée spécifiquement en fonction de l'exploitation d'origine, assurant une traçabilité précise et facilitant l'analyse comparative des huiles obtenues.



Figure 31 : zeste d'orange conservé dans des sacs en plastique stérile **photo originale 2024**

Les fruits restants ont ensuite été coupés en morceaux et placés dans des sacs en plastique stériles **Figure 32** et conservés au congélateur pour une utilisation ultérieure dans l'extraction des polyphénols. Ce procédé de conservation permet de préserver les composés bioactifs des fruits, assurant ainsi que les polyphénols extraits restent intacts pour des analyses futures,



Figure 32 : fruits d'orange conservé pour l'extraction des polyphénols **photo originale 2024**

Nous avons également prélevé un fruit de chaque arbre, ce qui représente 10 fruits par exploitation, afin de mesurer le pH du jus d'orange. Cette approche garantit une évaluation représentative et précise de l'acidité des oranges provenant de chaque exploitation, enrichissant ainsi notre analyse des caractéristiques des fruits, **Figure 33**.



Figure 33 : fruits prélevé pour les mesures d'acidité du jus d'orange **photo originale 2024**

4. Les caractères de l'étude

Nous avons choisi 16 caractères qualitatifs **Tableau 19** et 6 caractères quantitatifs **Tableau 20** de **L'Institut international des ressources phylogénétiques (l'IPGRI)** et **Union Internationale pour la Protection des Obtentions Végétales (l'UPOV)** pour examiner la variabilité entre les fruits. Cette sélection de critères nous permet d'évaluer de manière exhaustive les différences et similitudes entre les échantillons, en tenant compte à la fois des aspects visuels et des mesures précises.

les mesures portés sur la longueur et le diamètre des fruits ont été effectuées à l'aide d'un pied à coulisse chaque fruit a été mesuré en position verticale pour la longueur (distance entre le pôle apical et le pôle basal) et en position horizontale pour le diamètre maximal. **Figure 34**



Figure 34 : pied de coulisse utilisé pour les mesures (photo originale)

Par ailleurs, l'épaisseur de l'écorce a été mesurée à l'aide d'une règle graduée, les données collectées ont été systématiquement enregistrées pour l'analyse statistique ultérieure, permettant d'évaluer la variabilité morphologique au sein de l'échantillon étudié. **Figure 35**



Figure 35 : règle gradué utilisé pour les mesures (photo originale)

<u>Les caractères quantitatifs</u>	<u>Description</u>
Le poids	En notant le poids de chaque orange à l'aide d'une balance Figure 9
La longueur	En notant la longueur de chaque orange et chaque feuille à l'aide d'un pied de coulis :
Le diamètre	En notant le diamètre de chaque orange et chaque feuille à l'aide d'un pied de coulis
Le rapport L/D (longueur / diamètre)	En comptant le rapport de la longueur sur la largeur de chaque orange et feuille
L'épaisseur de l'écorce	En mesurant l'épaisseur de chaque orange à l'aide d'une règle
Nombre des quartiers	En comptant les quartiers de chaque orange

Tableau 19 : les caractères quantitatifs (source IPGRI , UPOV)

<u>Les caractères qualitatifs</u>	<u>Description</u>
Forme de fruit	(1) Sphéroïde, (2) Ellipsoïde, (3) Piriforme (4) Oblique (asymétrique), (5) Aplatie, (6) Ovoïde
Forme de l'apex	(1) Mammiforme (2) Aigu (3) Arrondie (4) Tronquée (5) Déprimée
Forme de la base	(1) Dégagée (2) Convexe (3) Tronquée (4) Concave (5) Concave à collerette (6) Collerette avec bordure
Panachure de couleur	(0) absence (1) présence
Couleur de fruit	(1) orange jaune (2) orange moyen (3) orange foncé (4) rouge

	orangé (5) Rouge
Rugosité	(1) Lisse (2) Intermédiaire (3) Rugueuse
Rigidité d'écorce	(1) Faible (2) Moyenne (3) Faible
Adhérence à la pulpe	(1) Faible (2) Moyenne (3) Forte
Couleur d'albédo	(1) Verdâtre (2) Blanc (3) Jaune (4) Rose (5) Orange (6) Rougeâtre
Panachure de couleur de la chair	(0) Absence (1) Présence
Couleur de la chair	(1) orange clair (2) orange moyen (3) orange foncé (4) rouge orangé (5) rouge
Uniformité des quartiers	(0) Non (1) Oui
Présence des grains	(0) Absence (1) Présence
intensité de couleur de vert	(1) claire (2) moyenne (3) foncée
insertion de limbe	(1) Sessile (2) Brévipétiolé (3) Longipétiolé
Forme du limbe de la feuille	(1) Elliptique (2) Ovée (3) Obovale (4) Lancéolée (5) Orbiculaire (6) Obcordée

Tableau 20 : les caractères qualitatifs (source IPGRI, UPOV)

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R. Un test d'ANOVA a été effectué pour évaluer les caractères morphologiques des fruits. Par ailleurs, deux analyses en composantes principales (ACP) ont été menées : l'une portant sur les fruits et l'autre sur les feuilles. Deux analyses des correspondances multiples (ACM) ont également été réalisées, l'une sur les modalités et variables des caractères des fruits et l'autre sur les caractères des feuilles. De plus, une analyse factorielle des données mixtes (AFDM) a été conduite.

Ensuite, une analyse de dispersion a été effectuée sous forme de *scatter plot*, suivie d'une classification hiérarchique basée sur la méthode UPGMA, permettant de générer un dendrogramme.

Nous avons aussi élaboré un questionnaire détaillé pour mener une enquête approfondie auprès des agriculteurs. Ce questionnaire était structuré en plusieurs sections. La première partie était destinée à recueillir des informations personnelles sur les agriculteurs, telles que leur expérience, leur formation, et d'autres données pertinentes. Une autre section du questionnaire se concentrait sur les caractéristiques de l'exploitation agricole, avec des questions sur la taille de l'exploitation, le nombre d'arbres, le type d'agriculture pratiquée, ainsi que les sources d'eau utilisées pour l'irrigation... Enfin, nous avons inclus des questions spécifiques sur la production d'oranger doux, portant sur des aspects tels que le rendement des cultures, les maladies rencontrées, et les traitements appliqués pour lutter contre ces maladies. Ce questionnaire nous a permis de recueillir

des données précises et complètes pour analyser les pratiques et les défis liés à la culture de l'oranger doux. (ANNEXE1)

Partie II : L'étude
phytochimique

1. L'acidité du jus d'orange

L'acidité du jus d'orange a été aussi mesurée (Au laboratoire **GENAPAGIE-Tlemcen**) en utilisant un pH-mètre. La mesure a été réalisée sur un échantillon de 10 ml de jus d'orange dilué avec d'eau distillé afin de déterminer son pH.

Figure 36



Figure 36 : détermination de l'acidité de jus d'orange douce par Ph mètre (Photo originale)

2. Extraction d'huile essentielle de zeste d'orange douce

L'extraction des huiles a été réalisée **au laboratoire de recherche scientifique de Tlemcen**.

principe :

L'hydrodistillation est une méthode courante et facile pour extraire les huiles essentielles (HE). Elle consiste à immerger complètement le matériel végétal dans de l'eau portée à ébullition à pression atmosphérique. La chaleur provoque l'éclatement des cellules contenant les huiles, libérant ainsi leurs composés aromatiques. Ces composés sont ensuite transportés par la vapeur d'eau et refroidis dans un système de condensation. Le mélange résultant de gouttelettes d'eau et d'huiles essentielles est recueilli dans une ampoule à décanter. Deux couches non miscibles se forment : une couche huileuse flottante et une couche aqueuse (hydrolat), qui sont séparées en raison de leurs différences de densité. (Herzi, 2013 ; Tongnuanchan et Benjakul, 2014 ; Asbahani et al., 2015 ; BELKADDAR Rania et BENHAMOU Asmaa, 2020)

Mode opératoire :

L'huile essentielle d'orange douce *Citrus sinensis* a été extraite à partir du zeste de 10 échantillons d'orange douce différent conservé au congélateur avant l'utilisation, en utilisant un hydrodistillateur Clevenger.

200 grammes de zeste râpé ont été immergés dans un ballon en verre de 1000 millilitres rempli d'eau distillée, en veillant à ce que le mélange d'eau et zeste représente deux tiers du volume du ballon, le tiers restant étant réservé à l'air. Un agitateur magnétique (barrot) a été placé à l'intérieur pour faciliter le l'agitation du zeste et l'éclatement des cellules contenant l'huile. La température a été maintenue à un niveau modéré pour préserver les composants de l'huile, pendant 3 heures pour chaque échantillon **Figure 37 et 38**



Figure 37 : appareil CLEVANGER utilisé pour l'extraction d'huile essentielle



Figure 38 : les 10 échantillons des huiles essentielles

Taux de rendement

Le rendement en huiles essentielles est déterminé en calculant le ratio entre la masse d'huile essentielle obtenue et la masse Du zeste utilisée pour l'extraction (Ndoye Foe et al., 2016). Ce rendement, exprimé en pourcentage (%), est obtenu en appliquant la formule suivante :

$$R (\%) = (PHE / Pmv) \times 100$$

Où :

R (%): rendement en HE (%).

PHE : poids de l'HE extraite (g).

Pmv : poids du matériel végétal traité (g)

3. Indice d'acide

Principe

L'indice d'acide d'une huile correspond à la quantité de mg d'hydroxyde de potassium (KOH) nécessaire pour neutraliser les acides gras libres (AGL) présents dans 1 g de matière grasse. Cet indice permet de déterminer la proportion d'AGL dans un corps gras. La méthode consiste à dissoudre la matière grasse dans de l'éthanol chaud neutralisé, puis à titrer les AGL présents à l'aide d'une solution titrée de KOH en utilisant la phénolphthaléine comme indicateur. L'indice d'acide permet de vérifier la qualité des H.E, notamment en ce qui concerne sa dégradation avec le temps durant le stockage. (BAHMAN KHADIJA et DJBRIT RIM., 2022)

Mode opératoire

Selon AFNOR (2000), pour déterminer l'indice d'acide d'une huile, commencez par préparer l'échantillon en prenant 1 g de l'huile à analyser et en le dissolvant dans un erlenmeyer contenant préalablement 10 ml d'éthanol. Ensuite, titrez les acides gras libres présents dans la solution avec une solution d'hydroxyde de potassium (KOH) à 0,1 N dissoute dans de l'éthanol à 95°. Ajoutez de la phénolphthaléine comme indicateur coloré. Agitez la solution jusqu'à l'apparition d'une coloration rose indiquant le point de virage. Notez le volume de la solution de KOH utilisée pour atteindre ce point. **Figure 39**



Figure 39 : mesure de l'indice d'acide des huiles (photo originale)

L'indice d'acide, exprimé en mg de KOH par gramme d'huile, est ensuite calculé à partir de ces données selon la formule suivante : (Wolff, 1968).

$$IA = (56.1 * V * N) / p \text{ (mg de KOH / g d'huile)}$$

Où :

V : Volume en ml d'hydroxyde de potassium (0.1N) nécessaire au titrage.

N Normalité de solution de potassium (0.1N).

P : masse (g) de la prise d'essai.

56.11 : Masse molaire, exprimé en g /mol, d'hydroxyde de potassium.

4. Indice de saponification

Principe :

L'indice de saponification, également connu sous le nom d'indice de Koettstoerfer, représente la quantité de potasse, exprimée en milligrammes, requise pour saponifier un gramme de matière grasse. En pratique, cet indice diminue à mesure que la longueur des chaînes d'atomes de carbone dans les molécules d'acides gras augmente. Ainsi, il fournit une indication sur la longueur des chaînes hydrocarbonées des acides gras présents dans la matière grasse, la saponification est un processus de décomposition des esters d'acides gras présents dans les triglycérides des huiles sous l'action de bases telles que NaOH ou KOH. Ce processus conduit à la régénération du glycérol et à la formation d'un acide sous forme de sel, communément appelé savon, selon la réaction suivante

Figure 40 :

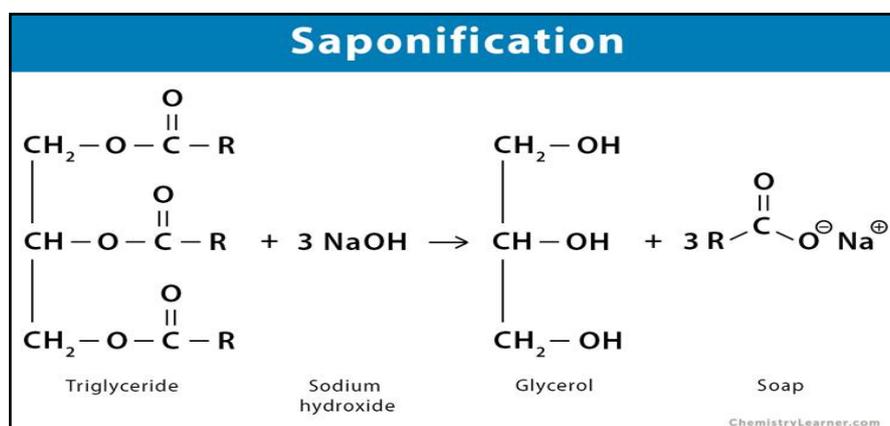


Figure 40 : la réaction de saponification des huiles

Mode opératoire :

Selon la norme NF EN ISO 3657, pour déterminer l'indice de saponification d'un corps gras, on suit un protocole précis. Tout d'abord, on pèse 1 g de l'échantillon de corps gras dans un ballon, auquel on ajoute ensuite 25 ml de potasse alcoolique à une concentration de 0,5 mol/L.

Le ballon est ensuite placé dans un bain-marie bouillant pendant 45 à 60 minutes. Après cette période, on ajoute 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine à 2% pour permettre l'indication du point final de la réaction. L'excès de potasse est alors titré avec de l'acide chlorhydrique de concentration 0,5 mol/L, tout en agitant constamment jusqu'à ce que la phénolphthaléine vire à l'incolore. **Figure 41** Un essai à blanc est réalisé dans les mêmes conditions pour permettre un calcul précis.

L'indice de saponification (IS) est ensuite calculé à l'aide de la formule suivante:

$$IS = ((C1 - C2) \times N \times 56,1) / M \text{ (mg de KOH / g d'huile)}$$

Où :

IS : indice de saponification

C1: la quantité (ml) d'acide chlorhydrique utilisé dans l'essai à blanc.

C2: la quantité (ml) d'acide chlorhydrique utilisé dans l'essai avec l'huile.

M: la masse (g) de la prise d'essai.

N: Normalité de l'acide chlorhydrique



Figure 41 : mesure d'indice de saponification (photo originale)

5. Indice d'ester

L'indice d'ester est donné par la formule suivante :

$$IE = \text{indice de saponification} - \text{indice d'acide (mg de KOH / g d'huile)}$$

6. Activité anti-oxydante

Activité d'inhibition du radical DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) :

Le pouvoir antioxydant des extraits testés a été estimé par comparaison avec un antioxydant de synthèse qui est le antioxydant naturel Vitamine C (Acide ascorbique).

Principe :

Consiste à la capacité de céder des hydrogènes par l'extrait testé, elle est mise en évidence par une méthode spectrophotométrique qui suit la disparition de la couleur violette d'un solvant polaire comme le méthanol contenant le radical libre DPPH⁺ (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) à température ambiante.

Dans ce test le piégeage du radical DPPH⁺ est suivi par la diminution de l'absorbance à 517nm, due à la réduction du radical par l'échantillon testé .

Mode opératoire

Le test du DPPH est réalisé en suivant la méthode décrite par :

Préparation de la solution DPPH :

- Préparer la solution de DPPH
- Conserver la solution obtenue à l'abri de la lumière à -4°C jusqu'à utilisation. **Figure 42**



Figure 42 : solution de DPPH (photo originale)

Préparer une gamme de dilution d'huile essentielle

Préparation de la gamme de dilution de la vitamine C: Préparer une série de 5 dilutions de l'antioxydant naturel (Vit C) dans le méthanol absolu **Figure 43**



Figure 43 : la gamme des dilutions « pour l'huile et la vitamine C » (photo originale)

Préparation du mélange réactionnel :

Mettre 2.7ml de la solution méthanolique de DPPH (60 μ M) dans chaque tube.

Prélever 0.3ml de chaque dilution (huile essentielle).

Incuber à l'abri de la lumière et à température ambiante pendant 1 heure. **Figure 44**



Figure 44 : incubation du mélange réactionnelle (photo originale)

Préparer un blanc avec 0.3ml de méthanol et 2.7ml de la solution de DPPH.

Mesurer l'absorbance à 517 nm. **Figure 45 et 46**



Figure 45 : le mélange après 1h (photo originale)



Figure 46 : mesure d'absorbance (photo originale)

Le test de l'activité anti-oxydante a été réalisé en triplicata.

Lecture :

Le pourcentage d'activité antioxydante (I %) est donné par la formule suivante :

$$I (\%) = [(A \text{ blanc} - A \text{ ech}) / (A \text{ blanc})] \times 100$$

ou :

A blanc : Absorbance du blanc (nm).

A ech : Absorbance de l'échantillon testé.

Détermination de la concentration inhibitrice de 50% des radicaux (IC50) :

Principe :

Consiste à la définition de la concentration d'échantillon étudié (extrait ou antioxydant de référence) nécessaire pour inhiber ou faire disparaître 50% des radicaux libres.

Mode opératoire :

- Tracer la courbe des pourcentages de l'activité antioxydante I% en fonction des Concentrations de l'échantillon testé.
- Déterminer l'équation $Y = ax + b$ de la droite linéaire obtenue, dans laquelle **I%** est proportionnelle à la concentration (D'après la loi de Beer Lambert). Dont, **Y** : représente **I%** et **X** : représente la concentration de l'échantillon testé.

$$I\% = a (\text{concentration de l'échantillon en } \mu\text{g}) + b$$

Lecture :

Calculer la concentration nécessaire pour obtenir une activité en % égale à 50, soit :

$50\% = a (\text{concentration de l'échantillon en } \mu\text{g}) + b$, donc :

Concentration de l'échantillon en $\mu\text{g} = (50\% - b)/a$

7. Identification de la composition chimique des huiles essentielles par gc/ms

Mode opératoire

L'analyse des huiles essentielles des échantillons étudiées a été réalisée en utilisant un chromatographe en phase gazeuse (Hewlett-Packard co, model 6890) couplée à un spectrophotomètre de masse (Hewlett-Packard co, model 5973, Palo Alto, CA, USA). La colonne utilisée était une HP-5MS, composée de 5% de phényl méthyl siloxane, avec une longueur de 30 m, un diamètre intérieur de 0,25 mm, et une épaisseur de film de 0,25 mm. Les conditions opératoires comprenaient une température d'injecteur de 250 °C (mode split 1:50), une programmation de la température de 50 °C à 280 °C à une vitesse de 5 °C/min, avec de l'hélium comme gaz vecteur à un débit de 1,2 ml/min. Les températures de la source quadripolaire étaient respectivement fixées à 250 °C et 280 °C. Les indices de rétention linéaire (RI) ont été déterminés à l'aide de n-alcanes comme étalons, et l'identification des composés individuels a été effectuée en comparant leurs spectres de masse avec les données de la bibliothèque NIST05 (spectral library collection).

8. Séchage des fruits

Principe

La lyophilisation des fruits est un procédé de séchage qui consiste à congeler les fruits à très basse température, puis à éliminer l'eau par sublimation sous vide, sans passer par l'état liquide. Ce processus se déroule en deux phases : la sublimation, où la glace se transforme en vapeur d'eau, et la dessiccation, qui élimine l'humidité résiduelle. Cela permet de conserver la forme, la couleur, le goût et les nutriments des fruits, tout en les rendant croustillants et légers, avec une longue durée de conservation.

Mode opératoire

Pour l'extraction des polyphénols des oranges douces, les fruits ont été séchés et broyés pour cela

On coupe les orange en petites tranches et on les places dans des boîtes de Pétri étiquetées avec un codage spécifique, Chaque boîte a été recouverte de parafilm, dans lequel de petits trous ont été faites pour permettre l'élimination de l'eau durant le processus. **Figure 47**



Figure 47 : préparation des fruits pour lyophilisation
(photo originale)

Ensuite, les échantillons ont été placés dans un lyophilisateur pendant 48 heures pour un séchage complet par sublimation. **Figure 48**

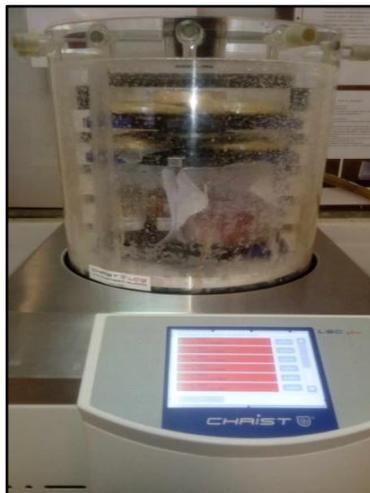


Figure 48 : appareil lyophilisateur utilisé (photo originale)

Après le séchage ; les échantillons ont été broyés avec une Moulinex à café jusqu'ils deviennent poudre et on les conserve jusqu'à leur utilisation **Figure 49**



Figure 49 : broyage des fruits sec (photo originale)

9. Extraction des polyphénols

Mode opératoire :

- L'extraction des polyphénols était réalisée à partir de 2 g de poudre d'orange séchée à l'aide de l'extraction assistée par ultrasons,
- On commence par ajouter 40 mL de méthanol à 80% (80% méthanol + 20% eau distillé) à la poudre d'orange dans une bouteille en verre.
- Le mélange est ensuite soumis à des ultrasons dans un bain à ultrasons réglée à une puissance de 60 W pendant 40 minutes, à une température contrôlée de 50°C pour éviter la dégradation des composés. **Figure 40**



Figure 50 : extraction des polyphénols par ultrason
(photo originale)

- Une fois l'extraction terminée l'extrait a été filtré à travers du papier filtre sur un entonnoir pour séparer l'extrait liquide des résidus solides. **Figure 51**



Figure 51 : filtrage des extraits (photo originale)

- Enfin, l'extrait concentré est stocké à -20°C jusqu'à analyse. **Figure 52**



Figure 52 : stockage des extraits des polyphénols

10. Dosage des polyphénols

Principe

Le dosage des polyphénols est effectué en utilisant la méthode de Singleton et Ross, qui repose sur le réactif de Folin-Ciocalteu. Ce réactif est une solution composée d'acide phosphotungstique ($\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($\text{H}_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$). Lorsqu'ils réagissent avec les polyphénols, ces acides subissent une réduction, produisant un mélange de complexes de sels de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_{23}), qui prennent une teinte bleue. La solution ainsi formée présente une absorption maximale à une longueur d'onde de 735 nm. Le dosage des polyphénols totaux (PPT) est ensuite réalisé en comparant l'absorbance de la solution échantillon à celle d'une solution étalon d'acide gallique, utilisée comme référence. **Waterhouse, A. (1999).**

Mode opératoire

La courbe d'étalonnage d'acide gallique

- On prépare une solution d'acide gallique d'une concentration de 0,2 mg/ml
- On prépare une gamme de dilutions de cette solution
- On prépare le réactif de Folin-Ciocalteu on ajoutant 9 ml d'eau distillé au 1 ml de réactif de Folin-Ciocalteu
- On prépare en suite une solution de Na₂CO₃
- On prépare le mélange réactionnelle on mélangeant 100 µl de chaque dilution + 500 µl de RFC + 400 µl de la solution de Na₂CO₃ dans des eppendorfs
- On agite les mélanges en utilisant un vortex et on les incubes dans un bain marie dans 40°C dans 5 min de temps **Figure 53**

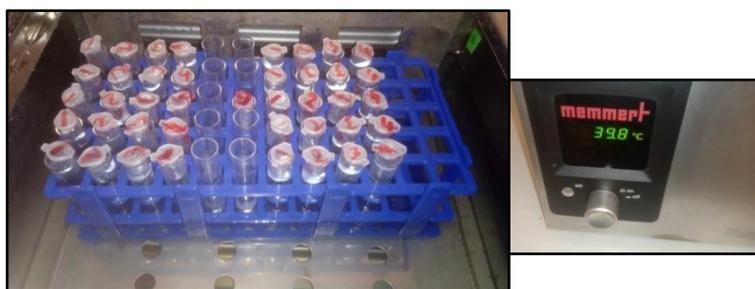


Figure 53 : incubation du mélange réactionnelle (photo originale)

- Et on mesure l'absorbance dans 735 nm l'aide d'un spectrophotomètre.
- les mesures d'absorbance sont réalisés en triplicata pour garantir la reproductibilité des résultats.
- On fait un essai de blanc (eau distillée + réactif de Folin-Ciocalteu + Na₂CO₃/NaOH)
- On trace la courbe d'étalonnage en reportant les absorbances obtenues pour les différentes concentrations d'acide gallique standard.

La quantification des polyphénols :

- On prépare des dilutions des extraits d'orange séchée :
- on fait les mêmes étapes de mélange réactionnel pour chaque dilution
- on mesure l'absorbance et on utilise la courbe d'étalonnage pour déterminer la concentration de polyphénols dans l'échantillon, exprimée en équivalent acide gallique (GAE) par gramme d'échantillon (mg GAE/g) **figure 54**



Figure 54 : le dosage des polyphénols totaux (photo originale)

11. Activité anti-oxydante des extraits polyphénoliques :

Le même protocole utilisé pour mesurer l'activité antioxydante a été réalisé pour mesurer l'activité antioxydante des extraits des polyphénols

Figure 55



Figure 55 : l'activité anti-oxydante des extraits polyphénolique (photo originale)

Résultats et Discussion

conclusion

L'étude menée sur l'oranger **Citrus sinensis** dans quatre wilayas de l'Ouest algérien (Tlemcen, Oran, Mascara, Relizane) a permis de mieux comprendre l'impact des conditions agroécologiques, climatiques et des pratiques agricoles sur la qualité des fruits et des produits dérivés. Les résultats montrent des variations significatives dans les caractéristiques morphométriques des fruits, comme le poids, la taille, l'épaisseur des écorces et le nombre de quartiers, liées à des facteurs comme le type de sol, l'ensoleillement, et les techniques culturales. Par exemple, les fruits de **Hennaya** et **Ouled Slimen** sont les plus lourds, tandis que ceux de **Nedroma** sont plus petits et plus légers, ce qui peut indiquer une différence dans les ressources disponibles pour les arbres ou les pratiques agricoles locales.

Les analyses phytochimiques ont également révélé des différences entre les régions concernant les rendements en huile essentielle, avec des valeurs maximales observées à **Maghnia** (2,34 %) et des valeurs minimales à **Mascara** (0,37 %). Ces variations sont probablement influencées par la qualité du sol, les pratiques agricoles, et le stockage des zestes d'orange. De plus, l'analyse des indices d'acide, de saponification et d'esters des huiles essentielles a montré une qualité conforme aux normes, mais avec des disparités entre les régions, suggérant que les conditions locales influencent la composition chimique des huiles.

L'étude a également examiné l'activité antioxydante des huiles essentielles et des polyphénols extraits des fruits. Les huiles essentielles des régions comme **Hennaya**, **Ouled Slimen**, et **Oran Misserghin** ont montré une meilleure activité antioxydante, tandis que celles provenant de **Mascara** et **Oued El Djamaa** étaient moins efficaces. Cela témoigne de l'importance des pratiques agricoles et des conditions environnementales dans la concentration de ces composés bioactifs. De plus, les polyphénols extraits des fruits lyophilisés ont montré une variabilité en fonction des régions, influencée par l'ensoleillement, la fertilité du sol et les techniques agricoles.

En somme, cette étude montre que les pratiques agricoles, les conditions climatiques et les caractéristiques génétiques des variétés d'oranger influencent non seulement la qualité morphologique des fruits, mais aussi leur composition chimique, ce qui a des implications pour leur utilisation industrielle, notamment dans les secteurs cosmétiques et alimentaires.

Cette recherche ouvre plusieurs perspectives pour améliorer la qualité des produits issus de l'oranger *Citrus sinensis* dans les régions étudiées. Les principaux axes à explorer incluent l'optimisation des pratiques agricoles, notamment la gestion de l'irrigation, de la fertilisation et de la taille, qui influencent la croissance des arbres et la qualité des fruits. Une étude plus approfondie des variétés d'oranger pourrait permettre d'identifier celles qui sont les mieux adaptées aux conditions locales et qui présentent le meilleur potentiel en termes de rendement et de composition chimique.

Par ailleurs, la sélection de variétés spécifiques d'orangers, combinée à des pratiques agricoles améliorées, pourrait augmenter les rendements en huile essentielle et en polyphénols tout en améliorant leur activité antioxydante. Cette approche favoriserait la production d'huiles essentielles et de polyphénols de haute qualité, présentant un fort potentiel dans des applications industrielles, notamment dans les domaines cosmétiques et alimentaires.

De plus, une étude génétique approfondie des différentes variétés d'oranger serait essentielle pour mieux comprendre leur diversité, leur adaptation aux conditions locales et leur potentiel productif. En complément, une analyse détaillée de la composition des sols des régions étudiées pourrait apporter des informations précieuses sur leur impact sur la croissance des arbres, la qualité des fruits et le rendement des composés bioactifs.

Enfin, l'extension de cette étude à d'autres régions pourrait permettre de confirmer ces résultats et d'identifier de nouvelles zones propices à la production d'oranges douces, offrant ainsi une base solide pour une stratégie nationale visant à optimiser la production d'agrumes.

Résumé

L'étude réalisée sur l'oranger Citrus sinensis dans quatre wilayas de l'ouest algérien (Tlemcen, Oran, Mascara, Relizane), basée sur 476 fruits et 1500 feuilles prélevés sur 10 sites, a analysé 16 caractères morphométriques qualitatifs et 6 quantitatifs à l'aide d'analyses statistiques (descriptives, ANOVA, ACP, ACM, AFDM, UPGMA) et des paramètres phytochimiques incluant le pH du jus (3,23-4,22), le rendement en huiles essentielles (0,37-2,34 %), les indices chimiques (acide : 0,6-1,2 mg NaOH/g ; saponification : 14-20 mg NaOH/g ; esters : 11-19,4 mg NaOH/g), l'activité antioxydante (huiles : 4,06-4,96 µg/ml ; extraits polyphénoliques : 6,205-7,475 µg/ml), et la concentration en polyphénols (178,3791-250,7583 mg EAG/g). Les huiles essentielles présentaient une forte dominance en monoterpènes (90,08-100 %), le D-limonène étant majoritaire. Des variations importantes dans les qualités morphométrique et phytochimique des fruits ont été observées, influencées par les pratiques agricoles locales (taille, irrigation, fertilisation) et les conditions agroécologiques. Les fruits de certaines régions étaient plus lourds et volumineux, tandis que d'autres étaient plus petits et légers, en raison de différences dans la gestion de l'irrigation, la fertilisation et la qualité des sols. Cette étude met en évidence l'impact des pratiques agricoles sur la qualité des fruits et des huiles, et souligne l'importance d'adapter ces pratiques aux conditions locales pour optimiser la qualité et les rendements des produits dérivés du Citrus sinensis, ouvrant ainsi la voie à des recherches futures pour améliorer leur production face aux défis climatiques.

الاستنتاج

تم إجراء دراسة على شجرة البرتقال الحلو (*Citrus sinensis*) في أربع ولايات من الغرب الجزائري (تلمسان، وهران، معسكر، غليزان)، استناداً إلى 476 ثمرة و1500 ورقة مأخوذة من 10 مواقع، حيث تم تحليل 16 خاصية مورفومترية نوعية و 6 كمية باستخدام تحليلات إحصائية متنوعة (الوصفية، ANOVA، ACP، ACM، AFDM، UPGMA)، بالإضافة إلى تحليل المؤشرات الفيتوكيميائية التي شملت قياس درجة حموضة العصير (3.23-4.22)، وعائد الزيوت الأساسية (0.37-2.34%)، والمؤشرات الكيميائية (الحموضة: 0.6-1.2 ملغ NaOH/غ؛ التصبن: 14-20 ملغ NaOH/غ؛ الإسترات: 11-19.4 ملغ NaOH/غ)، والنشاط المضاد للأوكسدة (الزيوت: 4.06-4.96 ميكروغرام/مل؛ المستخلصات الفينولية: 6.205-7.475 ميكروغرام/مل)، وتركيز البوليفينولات (178.3791-250.7583 ملغ EAG/غ). أظهرت الزيوت الأساسية هيمنة عالية للتركيبات المونوتيربينية (90.08-100%) مع وجود D-limonene كمركب رئيسي. تم تسجيل اختلافات كبيرة في الخصائص المورفومترية والفيتوكيميائية للثمار، تأثرت بالممارسات الزراعية المحلية (التقليم، الري، التسميد) والظروف الزراعية البيئية. كانت ثمار بعض المناطق أكبر حجماً ووزناً، بينما كانت ثمار مناطق أخرى أصغر وأخف وزناً نتيجة اختلافات في إدارة الري، التسميد، وجودة التربة. تسلط هذه الدراسة الضوء على تأثير الممارسات الزراعية على جودة الثمار والزيوت، وتشدد على أهمية تكيف هذه الممارسات مع الظروف المحلية لتحسين جودة وإنتاجية المنتجات المشتقة من *Citrus sinensis*، مما يفتح المجال لمزيد من الأبحاث المستقبلية لتحسين الإنتاجية في ظل التحديات المناخية.

Summary

*A study on the sweet orange (*Citrus sinensis*) was conducted in four wilayas of western Algeria (Tlemcen, Oran, Mascara, Relizane), based on 476 fruits and 1500 leaves collected from 10 sites. The study analyzed 16 qualitative and 6 quantitative morphometric traits using various statistical analyses (descriptive, ANOVA, PCA, MCA, AFDM, UPGMA) and phytochemical parameters, including juice pH (3.23–4.22), essential oil yield (0.37–2.34%), chemical indices (acid: 0.6–1.2 mg NaOH/g; saponification: 14–20 mg NaOH/g; esters: 11–19.4 mg NaOH/g), antioxidant activity (oils: 4.06–4.96 µg/ml; polyphenolic extracts: 6.205–7.475 µg/ml), and polyphenol concentration (178.3791–250.7583 mg GAE/g). The essential oils showed a high dominance of monoterpenes (90.08–100%), with *D-limonene* as the major compound. Significant variations in the morphometric and phytochemical qualities of fruits were observed, influenced by local agricultural practices (pruning, irrigation, fertilization) and agroecological conditions. Fruits from certain regions were heavier and larger, while others were smaller and lighter, due to differences in irrigation management, fertilization, and soil quality. This study highlights the impact of agricultural practices on fruit and oil quality, emphasizing the importance of adapting these practices to local conditions to optimize the quality and yield of *Citrus sinensis* products. The findings pave the way for future research to improve production in the face of climatic challenges.*

Références

- Abdelwahab, R., Essa, M. M., & Memon, M. A. (2021). Myrcene: A monoterpene with promising health benefits in plants and humans. *Frontiers in Nutrition*, 8, Article 699666. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.699666>
- Aboudaou, M., Ferhat, M. A., Hazzit, M., Ariño, A., & Djenane, D. (2019). Solvent freemicrowave green extraction of essential oil from orange peel (*Citrus sinensis* L.): effects on shelf life of flavored liquid whole eggs during storage under commercial retail conditions. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(4), 3162-3172.
- AFNOR, 2000. Huiles essentielles. Monographies relatives aux huiles essentielles. Tome 2.6 ème edition. AFNOR, Paris.
- AFNOR. (2000). Recueil de normes : les huiles essentielles, Monographies relatives aux huiles essentielles ». Vol. Tome 2, paris.
- Agustí, M., & Almela, V. (2010). *Citrus fruit quality*. In *Citrus* (pp. 437-457). Springer.
- Akrouf L., 2022. Inventaire qualitatif et quantitatif des invertébrés inféodés à la culture d'oranger *Citrus sinensis* dans la région de Tamda, (Tizi-Ouzou, Algérie), mémoire de Master en Ecologie, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU.
- AL SID CHIKH N et BAHA I., 2023. Enquête sur les maladies des agrumes (orangers, citronniers, mandariniers) dans la région de Ghardaïa, mémoire de Master en Science Agronomique, Université de Ghardaïa.
- Al-Anbari, A. K. H., & Hasan, M.A.(2015). Antioxidant activity in some citrus leaves and seeds ethanolic extracts. In International Conference on Advances in Agricultural, Biological and Environmental Sciences (AABES) London (UK), July (pp. 22-23).
- Alloui, M., & Benmaatallah, R. (2021). *Caractérisation physicochimique et microbiologique du fromage traditionnel « Bouhezza »*. Mémoire de Master, Université 8 Mai 1945, Guelma, Algérie.
- Almeida R., 2005. Vector transmission of *Xylella fastidiosa*: applying fundamental knowledge to generate disease management strategies. *Annals of the Entomological Society of America* 98:775–786.
- Asbahani, A. E., Miladi, K., Badri, W., Sala, M., Addi, E. H. A., Casabianca, H., Elaissari, A. (2015). Essential oils: From extraction to encapsulation. *International Journal of Pharmaceutics*, 483(1-2), 220–243.
- AUBERT B. et VULLIN G., 1997- Pépinière et plantation des agrumes. Ed .CIRAD, Quae, France.184p
- BACHÉ M., 2004-Agrumes : Comment les choisir et les cultiver facilement Ed .INRA, Paris, 210p.

- BADAoui W. et BARCHI Y., 2019. Analyse physicochimique et propriétés antioxydantes de jus de fruits (orange, citrons et cocktail), mémoire de MASTER en Sciences Alimentaires, Université Mohamed El -Bachir El Ibrahim BAA.
- BAHMAN KHADIJA DJBRIT RIM 2022 ETUDE DES ACTIVITES BIOLOGIQUES D'UNE PLANTE AROMATIQUE MEDICINALE Master Domaine : sciences et technologie Université de Ghardaïa
- BELKADDAR R., BENHAMOU A .2020. Etude phytochimique et évaluation de l'activité antioxydante des extraits bruts et de l'huile essentielle du Citrus reticulata Mémoire En vue de l'obtention du diplôme de Master en sciences biologiques Universitaire Belhadj Bouchaïb d'Ain-Temouchent
- Ben Miri, Y., Arino, A., & Djenane, D. (2018). Study of antifungal, anti-aflatoxigenic, antioxidant activity and phytotoxicity of Algerian Citrus limon var. eureka and Citrus sinensis var. valencia essential oils. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 21(2), 345-361
- Bencheikh R. et Benamrane A., 2021. L'effet antibactérien des huiles essentielles des citrus (limonum et sinensis) sur différentes souches Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa et Staphylococcus aureus, mémoire de Master en Biologie, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.
- Bos L., 1963. Symptoms of Virus Diseases in Plants: With Indexes of Names of Symptoms in English, Dutch, German, French, Italian, and Spanish, Wageningen (Pays-Bas), nstituut voor Plantenziektenkundig Onderzoek, 132 p.
- Bouakkaz Sarah., Guesmi ourida., 2019. Étude de l'activité anti-oxydante et antibactérienne des huiles essentielles d'orange.
- **Boudhrioua, A., Cherif, M., & Mechri, B. (2013).** Evaluation de l'effet du stress hydrique et du porte-greffe sur la clémentine *Citrus reticulata* Swingle var. Sidi Aïssa. *Journal of Applied Biosciences*, 71(1), 5692-5701. <https://doi.org/10.4314/jab.v71i1.98813>
- BOUDJEMAA-GAMAZ Khadidja., 2021. Ecologie du Pou rouge de Californie Aonidiella aurantii (Maskell, 1879) (Homoptera : Diaspididae) sur citronnier dans la région de Rouïba. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques. École Nationale Supérieure Agronomique – El Harrach.
- Boukerche B., 2014. Evaluation de l'état phytosanitaire des vergers agrumicoles dans l'Est Algérien, Mémoire de master de sciences agronomie, Université 8 mai 1945 - Guelma 37p.
- BOUKROUFA M., 2016. Extraction de Substances à Haute Valeur Ajoutée à Partir de Rejets de l'Industrie Agro-Alimentaire, Thèse de Doctorat en Sciences et Techniques de l'Environnement, Ecole Nationale Polytechnique Alger.

- Bounab D. et Chaabi Y., 2018. Etude de la variabilité morphologique au sein d'une collection d'agrumes cultivée à l'Est Algérien, W. Skikda. Mémoire de Master Biologie et physiologie de la reproduction. Université des Frères Mentouri Constantine.
- Colitta-f C., 2020. Chlorose variégée des agrumes : un aperçu de 30 années de recherche et de gestion des maladies. Trop. Pathologie végétale
- DAVIES F.S et ALBRIGOL L.G., 1990-Citrus crop production science in horticulture 2. Ed.CAG international, Wallin Ford.USA .254P.
- DEHEGANI Selma., 2020. Etude de la compatibilité et de l'affinité de quatre variétés de greffons d'agrumes « Washington Navel, Navelina, Orograndé, Nules » sur deux porte-greffes « Citrange Carrizo, Citrus Volkameriana. mémoire master en agronomie. Université Abdelhamid Ibn Badis –Mostaganem
- DIDI A. et YAKOUBI S., 2021. Extraction analyse et encapsulation d'huile essentielle de déchets de citron (*Citrus limon*) et déchets d'orange (*Citrus sinensis*), en vue de leurs valorisation, mémoire de master en Bio-industrie Analyse et contrôle, UNIVERSITE LES FRERES MENTOURI DE CONSTANTINE.
- EL KANTAR S., 2018. Valorisation des coproduits issus des industries d'agrumes : extraction des molécules bioactives par des technologies innovantes, Thèse de Doctorat en Génie des Procédés Industriels et développement durable, université saint-joseph de Beyrouth
- Frassinetti S., Caltavuturo L., Cini M., Della Croce C. M., Maserti B. E., Antibacterial and Antioxidant Activity of Essential Oils from Citrus spp., *J. Essent. Oil Res.*, 23 (2011) 27-31
- Furusawa, Mai; Toshihiro Hashimoto; Yoshiaki Noma; Yoshinori Asakawa (November 2005). "[Highly Efficient Production of Nootkatone, the Grapefruit Aroma from Valencene, by Biotransformation](#)". *Chem.Pharm.Bull.* 53 (11):15131514. [doi:10.1248/cpb.53.1513](#). [PMID 16272746](#)
- Fuselli S. R., S. B. (2008). Garcia De la Rosa, M. J. Euguarus, R. Fritz, Chemical composition and antimicrobial activity of citrus essence on Honebee bacterial pathogen *Pacnibacillus* larvae, the causal agent of American foulbrood., *Word J. Microbial. Biothechnol.*, 24 2067-2072.
- Garcia-Lor A, Curk F, Morillon R, Ancillo G, Luro F, Navarro L, Ollitrault P (2012) Nuclear phylogeny within Citrus (Rutaceae) and four related genera *Ann Bot*
- Gast T., et Watkins T., 2018. Pousse jaune, fruit vert: Maladie du verdissement des agrumes. Notes de développement de ECHO no 138
- Goh, R. M. V., Pua, A., Luro, F., Ee, K. H., Huang, Y., Marchi, E., Liu, S. Q., Lassabliere, B., & Yu, B. (2022). Distinguishing citrus varieties based on genetic and compositional analyses. *PLOS ONE*, 17(4), e0267007. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267007>

- **Gómez-Mejía, E., Rosales-Conrado, N., & León-González, M. E. (2019).** Citrus sinensis essential oil and its main component D-Limonene as natural antimicrobials. *Journal of Food Safety*, 39(6), e12627.
- GRISONI, M., 2003- LA culture des agrumes à l'île de la réunion. Ed. CIRAD, France
- Hamani S., 2020. Diagnostic des maladies cryptogamiques des céréales dans la région de Bouira, Mémoire de master de sciences agronomie, Bouira, 09p
- Hartung J., 2015. « History and Diversity of Citrus leprosis virus Recorded in Herbarium Specimens », *Phytopathology*, vol, noaoût 2015, p. 1277-1284
- Hegde, P., Agrawal, P., & Gupta, P. K. (2016). Extraction of Polyphenols from Orange Peel by Solvent Extraction and Microbial Assisted Extraction and Comparison of Extraction Efficiency. In *Biotechnological Approaches for Sustainable Development* (pp. 179-192). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1920-3_14
- Henri V et Rey J et Vayssières J et Maraite H., 2013. PIP – Itinéraire technique mangue (*Mangifera indica*). Bruxelles : COLEACP, 87 p
- Heroual, K., Filali, S., & Meguellati, S. (2020). *Les polyphénols : Structure, pouvoir antioxydant et méthodes in vitro de l'évaluation de l'activité antioxydante* (Mémoire de master). Université des Frères Mentouri Constantine 1, Algérie.
- Herzi, N. (2013). Extraction et purification de substances naturelles: comparaison de l'extraction au CO2-supercritique et des techniques conventionnelles. Thèse en vue de l'obtention de doctorat de l'université de Toulouse. Université de Toulouse. 185p.
- Jacquemond C., Marion H. et Coord., 2013 - .Les clémentiniers et autres petits agrumes. Ed.Quae. 368 p
- Kaloustian J., Hdji-Minaglou F., Vanella. P., 2013. La connaissance des huiles essentielles : qualitologie et aromathérapie : entre science et tradition pour une application médical raisonnés. Edition Springer Verlag ., France. 226p
- Kammoun Bejar, A., Kechaou, N., & Boudhrioua Mihoubi, N. (2011). Effect of microwave treatment on physical and functional properties of orange (*Citrus sinensis*) peel and leaves. *Journal of Food Processing & Technology*, 2(2),109.
- Kaushik, D., Kumar, M., Proestos, C., Xiang, J., et al. (2023). A narrative review on the anti-inflammatory efficacy of *Bougainvillea spectabilis* Willd. and its various applications. *Journal of Agriculture and Food Research*, 12, 100570. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100570>
- KESSAL Khaoula, GUERROUDJ Ines, Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de master, Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj, 2023

- Khan, M. M., Iqbal, M., Hanif, M. A., Mahmood, M. S., Naqvi, S. A., Shahid, M., & Jaskani, M. J. (2012). Antioxidant and antipathogenic activities of citrus peel oils. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 15(6), 972-979.
- KHEFIFI Hadjer., 2015. Etudes physiologiques et génétiques de caractères morpho-physico-chimiques des fruits d'agrumes au cours de la maturation jusqu'à l'abscission. thèse de doctorat en Biologie intégrative des plantes. Délivré par SupAgro Montpellier Préparée au sein de l'école doctorale GAIA Et de l'unité de recherche AGAP.
- Khen O., 2014. Erosion génétique des espèces agricoles dans la wilaya de Skikda, Mémoire de master de sciences agronomie, Skikda
- Lado, J., Gambetta, G., & Zacarias, L. (2018). "Key determinants of citrus fruit quality: Metabolic changes during development and ripening." *Frontiers in Plant Science*, 9, 1439.
- Lagha-Benamrouche, S., & Madani, K. (2013). Phenolic contents and antioxidant activity of orange varieties (*Citrus sinensis* L. and *Citrus aurantium* L.) cultivated in Algeria : peels and leaves. *Industrial Crops and product*,50, 723-730.
- LEBDI G. 2010- Les-exigences-edapho-climatiques-des-agrumes
- Lifang S., 2019. « Citrus Genetic Engineering for Disease Resistance: Past, Present and Future », *International Journal of Molecular Science*
- Litterick, Audrey. (2017). **Soil pH – How to Measure and Manage It Based on an Understanding of Soil Texture**. Earthcare Technical, Greatsoils Factsheet. Consulté à partir de *Greatsoils*.
- Loussert R., 1987-Les agrumes arboriculture. Ed. Lavoisier, Paris, Vol n°1, 113p
- LOUSSERT R., 1989b-Les agrumes, arboriculture
- Luro F., Jacquemond C., Curk F. (2013). La clémentine dans la diversité génétique des agrumes. In: Les clémentiniers et autres petits agrumes. Jacquemond C., Curk F. ,Heuzet M. eds., Versailles, France, pp. 17-36.
- **McClure, K. A., Gong, Y., Song, J., Vinqvist-Tymchuk, M., Campbell Palmer, L., Fan, L., Burgher-MacLellan, K., Zhang, Z., Celton, J.-M., Forney, C. F., ... & Showalter, A. (2019).** Genome-wide association studies in apple reveal loci of large effect controlling apple polyphenols. *Horticulture Research*, 6(107). <https://doi.org/10.1038/s41438-019-0190-y>
- Melle SADOUN Fahima Melle SI TAHAR Melissa 2023 Master en sciences biologiques EtudE comparativE dE l'activité Antioxydante des Agrumes Université Mouloud Mammeri De Tizi- Ouzou
- Ndoye Foe, F. M. C., Tchinang, T. F. K., Nyegue, A. M., Abdou, J. P., Yaya, A. J. G., Tchinda, A. T., Etoa, F. X. (2016). Chemical composition, in vitro antioxidant and anti-

- inflammatory properties of essential oils of four dietary and medicinal plants from Cameroon. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 16(1). 1-12.
- NENG-GUO TAO , YUE-JIN LIU ET MIAO-LING ZHANG, Chemical composition and antimicrobial activities of essential oil from the peel of bingtang sweet orange (*Citrus sinensis* Osbeck) ,2009, p1283.
 - **Ng, J. F., Ahmed, O. H., Jalloh, M. B., Omar, L., Kwan, Y. M., Musah, A. A., & Poong, K. H. (2022).** Soil nutrient retention and pH buffering capacity are enhanced by Calciprill and sodium silicate. *Agronomy*, 12(1), 219. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010219>
 - Nicolosi E., Deng Z.N., Gentile A., La Malfa S., Continella G. and Tribulato E. 2000. Citrus phylogeny and genetic origin of important species as investigated by molecular markers. *Theor. Appl. Genet.* 100: 1155-1166.
 - Ollitrault P et al. (2012b) SNP mining in *C. clementina* BAC end sequences; transferability in the Citrus genus (Rutaceae), phylogenetic inferences and perspectives for genetic mapping *Bmc Genomics*
 - Ollitrault P., Jacquemond C., Dubois C., et al. (2003), Botany and genetic resources. *Genetic Diversity of Cultivated Tropical Plants*, pp. 193
 - Ollitrault P., Jacquemond C., Dubois C., Luro F., 1999. Citrus. In: Genetic diversity of cultivated tropical plants. Edited by Hamon P., Seguin M., Perrier X., Glaszmann J.C. Enfield, Science Publishers. Montpellier, pp. 89-111
 - Pinto, L., Bonifacio, M. A., De Giglio, E., Cometa, S., Logrieco, A. F., & Baruzzi, F. (2020). Unravelling the antifungal effect of red thyme oil (*Thymus vulgaris* L.) compounds in vapor phase. *Molecules*, 25(20), 4761. <https://doi.org/10.3390/molecules25204761>
 - PRALORAN J.C., 1971-Les agrumes, techniques agricole et productions tropicale Ed. Maisonneuve et Larose, Paris, 561 p
 - Rega B, Fournier N, Guichard E, Russel R. 2003. Citrus flavour. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 48, 3280-3285.
 - SAADOUNE zineb et MEGUENNI fadhila 2016 Impacte de la composition des huiles essentielles de *Citrus sinensis* (orange) et *Citrus limonum* (citron) sur l'activité microbiologique
 - Sanchez-Moreno A., Larrauri-Jose F., Saura-Calixto A., Procedure to Measure the Antiradical Efficiency of Polyphenols, *J. Sci. Food Agric.*, 76 (2) (1998) 270-276.
 - Scherer R., Godoy H. T., Antioxidant activity index (AAI) by the 2, 2 diphenyl-1-picrylhydrazyl method, *Food Chem.*, 112 (2009) 654- 658.)
 - Selmi, S., Rtibi, K., Grami, D., Sebai, H., & Marzouki, L. (2017). Protective effects of orange (*Citrus sinensis* L.) peel aqueous extract and hesperidin on oxidative stress and peptic ulcer induced by alcohol in rat. *Lipids in health and disease*, 16(1), 1-12.

- Shimizu, T. Yoshiuka, T. Nagasaki, H. Kaminuma, E. Toyoda, A. Fujiyama, A. and Nakamura, Y. 2012. Whole genome sequencing and mapping analysis for identifying polymorphism among 11 citrus varieties. XII International Citrus Congress - Valencia, Spain S03O03:62.
- Sugiyama A, Omura M, Matsumoto H (2011) Quantitative trait loci (QTL) analysis of carotenoid content in Citrus fruit Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 80:136-144
- Tongnuanchan,P., Benjakul, S. (2014). Essential Oils: Extraction, Bioactivities, and Their Uses for Food Preservation.Journal of Food Science, 1231-1249
- Toscano-Garibay, J.D., Arriaga-Alba, M., Sánchez-Navarrete, J., Mendoza-García, M., Flores-Estrada, J.J., Moreno-Eutimio, M.A., & Ruiz-Pérez, N.J. (2017). Antimutagenic and antioxidant activity of the essential oils of Citrus sinensis and Citrus latifolia. Scientific Reports, 7(1), 1-9.
- USDA Foreign Agricultural Service - Citrus: World Markets and Trade (USDA Foreign Agricultural Service) (USDA Foreign Agricultural Service)
- VEKIARI S.A, PROTOPAPADAKIS E.F, PAPADOPOULOU P, PAPANICOLEAU D, PANOU C et VAMVAKIAS, M. 2002.Composition and seasonal variation of the essential oil from leaves and peel of the lemon variety. Journal of Agriculture and food chemistry, 5, (1), 147-153.
- WALALI L., SKIREDJ A. et ELATTI H., 2003- Transfert de la technologie en agriculture, fiche technique (bananier, la vigne et les agrumes).Ed. PNTTA , Maroc, 3p.
- Waterhouse, A. (1999). Folin-Ciocalteu Micro Method for Total Phenol in Wine. Food Anal. Chem., 299: pp 152-78.
- Wolff .; 1968. Manuel d'analyse des corps gras. Ed. Azoulay, Paris.
- Wu G. A., Prochnik S., Jenkins J., et al. (2014), Sequencing of diverse mandarin, pummelo and orange genomes reveals complex history of admixture during citrus domestication. Nature biotechnology, pp. 656–662
- Xu, Q. Chen, L.L. Ruan, X. Chen, D. et al. (2013). The draft genome of sweet orange (Citrus sinensis)
- Yahfoufi, N., Alsadi, N., Jambi, M., & Matar, C. (2018). The Immunomodulatory and Anti-Inflammatory Role of Polyphenols. *Nutrients*, 10(11), 1618. <https://doi.org/10.3390/nu10111618>
- Youcef-Ettoumi, K., Zouambia, Y., Moulai-Mostefa, N. (2021). Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of Algerian Citrus sinensis essential oil extracted .by hydrodistillation assisted by electromagnetic induction heating. Journal of Food Science and Technology, 58(8), <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04808-5>.

- Yu Y., Bai J., Chen C., Plotto A., Baldwin E., Gmitter F. Comparative analysis of juice volatiles in selected mandarins, mandarin relatives and other citrus genotypes. J. Sci. Food Agric. 2017; 98(3): 1124–1131. pmid:28731231
- Zhang H., Xie Y., Liu C., Chen S., Hu S., Xie Z., et al. Comprehensive comparative analysis of volatile compounds in citrus fruits of different species. Food Chem. 2017; 230: 316–326. pmid:28407917

Références des sites (figures)

- [1] <https://frstore.onlineclearance2024.ru/category?name=porte%20greffe%20oranger>
- [2] <http://thierrymartincoutin.free.fr/oranger.htm>
- [3] <https://www.cuisineetsens.com/boutique/flacon-huile-essentielle-cuisine-bio-fleurs-fruits/huile-essentielle-fleur-oranger/>
- [4] <https://www.ikonet.com/fr/ledictionnairevisuel/regne-vegetal/fruits/fruit-charnu-agrume.php>
- [5] <https://www.uvt.rnu.tn/resources-uvt/cours/bv/biologie-v-2/cadres/Lecon2/tissu1/p5.htm>
- [6] https://www.researchgate.net/figure/Molecular-structure-of-R-limonene-and-S-limonene_fig2_231120521
- [7] https://www.memoireonline.com/07/08/1340/m_dosage-biochimique-composes-phenoliques-datte-miel-sud-algerie16.html
- [8] <https://www.alamyimages.fr/formule-chimique-de-molecule-antioxydante-de-the-de-catechine-image424940173.html>
- [9] <https://fr.dreamstime.com/mol%C3%A9cule-chocolat-flavono%C3%AFde-lepicatechin-d-%C3%A9picat%C3%A9chine-formule-squelettique-image187171006>
- [10] https://biochim-agro.univ-lille.fr/brunissement/co/ch2_I_d_4.html
- [11] <https://byjus.com/biology/difference-between-lycopene-and-beta-carotene/>
- [12] https://dietlovmk.best/product_details/14374749.html

