



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة باجي مختار عنابة

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR – ANNABA

FACULTÉ DES SCIENCES

DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE

THESE

PRESENTEE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT EN SCIENCES

spécialité : BIOLOGIE VEGETALE

Intitulé

**IMPORTANCE DES PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DU SOL ET LA NATURE DU CLIMAT SUR LA
VALEUR ALIMENTAIRE DE LA GRENADE (FRUIT DU GRENADIER - PUNICA GRANATUM)**

Presentée par : HASSEN Anissa

Directeur de thèse :

BENSLAMA Mohamed

Professeur

U. Badji Mokhtar - Annaba

Co-Directeur de thèse :

DESOBRY Stéphane

Professeur

U. de Lorraine - France

Président:

SAKRAOUI-BOUKHROUFA Fériel

Professeur

U. Badji Mokhtar - Annaba

Examineurs

SERIDI Ratiba

Professeur

U. Badji Mokhtar - Annaba

SLIMANI Ali

Professeur

U. Chadli Bndjedid-El Taref

DJAZOULI Zahereddine

Professeur

U. Saad Dahleb-Blida

Année universitaire : 2021/2022

Dédicaces

Dédicaces

Je dédie ce travail :

Aux êtres les plus chers;

A mon père Mouloud HASSEN

A ma mère Nadja DJOUDI

A mon frère Yacine HASSEN

Remerciements

Remerciements

En premier lieu, je tiens à exprimer ma très grande considération et ma vive reconnaissance à mon directeur de thèse, Monsieur **BENSLAMA Mohamed** Professeur à l'université Badji Mokhtar - Annaba. Je le remercie vivement de m'avoir confié ce sujet, fait confiance, de m'avoir soutenu et surtout encouragé durant tout le long de ce travail, sa disponibilité, son aide, ses précieux conseils, m'ont permis d'avancer dans mes recherches. Merci pour votre sens des valeurs et votre sympathie.

Je remercie également mon co-encadreur Monsieur **DESOBRY Stéphane**, Professeur à l'université de Lorraine - France qui a suivi toutes les étapes de ce travail et m'a aidé et encouragé pour réaliser cette recherche. Je vous remercie tout particulièrement, pour vos grandes qualités humaines Monsieur.

Mes sincères remerciements s'adressent à madame la présidente du jury, **SAKRAOUI BOUKHROUFA Fériel**, Professeur à l'université Badji Mokhtar de Annaba, qui a accepté de présider ce jury.

Je remercie les membres du jury, Madame **SERIDI Ratiba**, Professeur à l'Université Badji Mokhtar - Annaba, Monsieur **DJAZOULI Zahereddine** Professeur à l'Université Saad Dahleb-Blida ainsi que Monsieur **SLIMANI Ali** Professeur à l'université Chadli Bndjedid-El Taref qui ont accepté d'examiner ce travail et qui ont consacré du temps à la lecture et l'analyse de ce document, merci

Je remercie tous les responsables ainsi que les membres des différentes structures et différents laboratoires qui m'ont accueilli et formé pour la réalisation de cette thèse:

Merci à:

ITAF Boufarik: qui m'a permis de me familiariser avec les techniques d'échantillonnage du sol et d'acquérir des techniques d'analyses de certains paramètres physico chimique des fruits.

Laboratoire Moussaoui Biskra: ou j'ai suivi une formation sur les techniques d'analyse physico-chimique du sol

ITIDAS Biskra: pour la réalisation des analyses physico-chimiques des échantillons de sol des différentes zones de prélèvement.

CTIAA Boumerdes: ou j'ai suivi une formation sur les techniques d'analyse et qui m'ont donc permis de réaliser les analyses physico-chimiques des fruits récoltés au niveau des différentes zones de prélèvement.

IEA France: - Institut Européen des Antioxydants en Lorraine, Nancy, où j'ai procédé à une première approche avec les antioxydants et les méthodes d'analyses.

Ce travail n'aurait pas pu être mené sans la contribution de personnes qui ont participé à la récolte des échantillons au niveau des différentes zones de l'Algérie, Merci

Je voudrais remercier plus particulièrement, mon directeur d'établissement l'ESSAIA, Monsieur **Djazouli**, qui n'a pas cessé de me remotiver et m'encourager pour la réalisation de ce travail, surtout lorsque parfois ce n'était pas évident, Merci Monsieur. c'est un honneur d'avoir un chef d'établissement compréhensif et qui motive son personnel enseignants à réussir et à donner le meilleurs. recevez monsieur mes sentiments de reconnaissance

Je remercie Monsieur **Moussaoui** du laboratoire Moussaoui Biskra, d'avoir mis à ma disposition, toute la documentation nécessaire pour enrichir mes recherches.

Je voudrais remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont participé à l'aboutissement de ce travail.

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

I Introduction 1

II Chapitre 1: Recherche bibliographique

1. Biologie du fruit	3
1.1 Données générales sur <i>Punica granatum</i>	3
1.2 L'histoire de <i>Punica granatum</i>	3
1.3 Distribution de <i>P. granatum</i>	3
1.4 Classification botanique	3
1.5 Dénomination scientifique	4
1.6 Dénomination communes	4
1.7 Botanique.	4
1.7.1 Description générale du grenadier.	4
1.7.2 Les feuilles	4
1.7.3 Les fleurs	5
1.7.3.1 Diagramme floral.	6
1.7.3.2 Le calice.	6
1.7.3.3 La corolle.	7
1.7.3.4 Le gynécée.	7
1.7.3.5 Les étamines.	7
1.7.4 Les fruits.	8
1.7.4.1 La baie.	8
1.7.4.2 Les graines.	9
1.7.4.3 L'écorce du fruit.	9
1.7.5 L'écorce de la racine.	10
1.7.6 L'écorce de la tige.	10
1.7.7. Illustration générale des différents organes.	11
1.8 Phytochimie et activités thérapeutiques de <i>P. granatum</i>	11
1.9 Les constituants des différentes parties du grenadier	11
1.10 La valeur nutritive de la grenade	12
1.11 Les variétés à fruits	12
2 Les Normes internationales pour le grenadier	15

2.1 Les dispositions concernant la qualité	15
2.1.1 Caractéristiques minimales	15
2.2 Classification	15
2.2.1 La catégorie extra	15
2.2.2 La catégorie I	15
2.2.3 La catégorie II	15
2.3 La dispositions concernant le calibrage	16
3. Description générale et conditions de milieu	17
3.1 La culture du grenadier.	17
3.2 Les exigences de milieu.	17
3.2.1 Les conditions climatiques.....	17
3.2.2 Le sol.	17
3.2.3 L'eau.	17
3.2.4 Soins culturaux.	18
3.2.5 Engrais.....	18
3.3 La multiplication.	18
3.3.1 Le semis.	18
3.3.2 La bouture	18
3.3.3 Le marcottage.	18
3.3.4 Le drageon.	18
3.3.5 La greffe.	19
3.4 La fructification et la récolte des fruits.	19
3.4.1 La fructification.	19
3.4.2 La récolte des fruits.	19
4. Les composés actifs des grenades: les antioxydants	20
4.1 Les polyphénols	20
4.1.1 Biosynthèse des Polyphénols	20
4.1.2 Classification et structures des Polyphénols	21
4.2 Les non flavonoides	22
4.3 Les flavonoides	23
4.4 Propriétés des polyphenols	23
4.4.1 Biologique	23
4.4.2 Physico-chimique	23

5. Les zones d'échantillonnage	24
5.1 Les caractéristiques des Wilaya des zones d'études	26
5.2 Procédure d'échantillonnage	32
5.3 Récolte des échantillons	32
5.3.1 Les échantillons du sol	33
5.3.2 Les échantillons fruits	35
6. Méthodes	36
6.1 Les paramètres biochimiques du Fruit	36
6.1.1 Dosage des protéines (methode kjeldhal)	36
6.1.2 Dosage des glucides (methode dubois)	37
6.1.3 Dosage des lipides (extraction soxhlet)	38
6.1.4 Détermination de l'acidite titrable	38
6.1.5 Dosage de la vitamine C	40
6.1.6 La valeur énergétique	40
6.1.7 Le taux d'antioxydants (flavonoïdes et polyphenoles)	41
6.1.7.1 Dosage des polyphénols (spectrophotometre uv-vis)	41
6.1.7.2 Dosage des flavonoïdes (spectrophotometre uv-vis)	41
6.2 Les paramètres physico chimique du sol	43
6.2.1 Évaluation de la matière organique (MO)	43
6.2.2 Détermination du calcaire total (%).....	43
6.2.3 Détermination du calcaire actif (%).....	44
6.3 La récolte des résultats météorologique	44
7. L'étude statistique	44

IV Chapitre 3: Résultats et discussion

8 Les résultats	46
8.1 Résultats de l'échantillonnage	46
8.2 Les matrices obtenues	53
8.2.1 La composition chimique des grenades	53
8.2.2 La composition en antioxydants des grenades	55
8.2.3 La composition chimique des sols étudiés	57
8.3 Les représentations graphiques	58
8.3.1 Représentations graphiques des propriétés du fruit du Grenadier	58
8.3.3 Représentations graphiques des antioxydants et des propriétés du fruit du Grenadier...	64
8.3.4 Représentations graphiques des paramètres physico-chimiques du sol	66

8.3.5 Représentations graphiques des facteurs climatiques des différentes régions	81
8.4 Analyse statistique	85
8.4.1 Analyse en composantes principales (ACP) et son interprétation	85
8.4.2 Analyse statistique des propriétés du fruit du Grenadier	86
8.4.3 Analyse statistique des antioxydants et des propriétés du fruit du Grenadier	96
8.4.4 Analyse statistique des paramètres physico-chimique du sol	104
9 Les interprétations	113
9.1 Interprétation de l'analyse biochimique du fruit	113
9.2 Interprétation de l'analyse des antioxydants présents dans les échantillons de grenades.	114
9.3 Interprétation de l'analyse des composants chimiques du sol	115
9.4 Interprétation de l'analyse des facteurs climatiques	115
9.5 Interprétation de l'étude statistique	115
V Conclusion	118
VI Bibliographie	119
VII annexe	

Liste des abréviations

Liste des abréviations :

ACP : analyse composante principale

ADN : Acide Désoxyribo Nucléique.

ARN : Acide Ribo Nucléique.

Ca⁺ : calcium

CaCO₃: calcium carbonate

CE : conductivité électrique

Cl : chlore

cm : centimètre

CO₂: dioxyde de carbone

CTIAA : Centre Technique des Industries Agroalimentaires

g : gramme

Gps : Global Positioning System

H₂ SO₄ : Acide sulfurique

HCl : Acide chlorhydrique.

HCO₃ : ions bicarbonate

ITAF: Institut Technique De L'arboriculture Fruitière

ITIDAS : Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne

K⁺ : potassium

K₂O : oxyde de potassium

Kcal : Kilo calories

Kj : Kilo joules

Km : kilomètre

L : litre

m: mètre

M : Molarité

Meq : miliequivalent

Mg : Magnésium

mgEAA : milligramme Equivalent Acide Ascorbique.

mgEQ : milligramme Equivalent Quercétine.

mgEAG : milligramme Equivalent Acide Gallique

mg : Milligramme.

min : minutes

Miné : minéralisation

ml : Millilitre.

mm : millimètre

MO : matiere organique

N : Normalité

NaNO₂ : sodium nitrite

NaOH : Hydroxyde de sodium

nm : nanomètre

P2O₅: pentoxyde de phosphore

pH : potentiel hydrogène

Ppm : partie par million

Tr/min : tour par minute

UV-Vis : Ultraviolet-visible.

µg : Microgramme.

µl : Microlitre.

% : Pourcentage.

°C : Degré Celsius

Liste des figures

Liste des figures

Figure 01 : Feuilles lancéolées de <i>Punica granatum</i>	5
Figure 02 : Diagramme d'une fleur de <i>Punica granatum</i>	6
Figure 03 : Grenades et leur calice denté.	6
Figure 04 : Fleurs aux sépales charnus et rouges et aux pétales froissés.	7
Figure 05 : Fleur et ses nombreuses étamines.	8
Figure 06 : Grenade et ses nombreuses graines.	8
Figure 07 : Graine au mésocarpe charnu et gélatineux.	9
Figure 08 : Le grenadier, <i>Punica granatum</i> L.	11
Figure 09 : Grenadier nain cultivé en bonsaï.	14
Figure 10: voie de formation du précurseur des acides phénoliques	21
Figure 11 : Voies de biosynthèse des différentes classes de composés phénoliques	22
Figure 12: Structure de base des Flavonoïdes	23
Figure 13: Carte géographique de l'Algérie et représentation des zones d'échantillonnage ...	24
Figure 14: représentation géographique de la wilaya d'Alger	26
Figure 15: représentation géographique de la wilaya de Annaba	27
Figure 16: représentation géographique de la wilaya de Biskra	28
Figure 17: représentation géographique de la wilaya de Ouargla	29
Figure 18: représentation géographique de la wilaya de Tizi Ouzou	30
Figure 19: représentation géographique de la wilaya de Skikda	31
Figure 20: représentation géographique de la wilaya d'Oran	32
Figure 21: représentation des zones de prélèvement des échantillons de terre	33
Figure 22: Surface de prélèvement par rapport à l'exposition solaire	34
Figure 23: prélèvement d'échantillons de terre avec une tarière	34
Figure 24: photographies des arbres de grenadier pendant la période de récolte	35
Figure 25: photographie d'un arbre de grenadier atteignant 6 mètres de hauteur.	35
Figure 26: photographie de la pesé des échantillons au laboratoire	36
Figure 27: photographies des étapes de mesure de l'acidité titrable au laboratoire	39
Figure 28: Les fruits de grenades récoltés ainsi que les échantillons de terre correspondants avec leurs caractéristiques.	52
Figure 29: représentation graphique de la distribution du taux de protéine sur les différentes zones d'échantillonnage.	59

Figure 30: représentation graphique de la distribution du taux de glucide sur les différentes zones d'échantillonnage	60
Figure 31: représentation graphique de la distribution du taux de lipide sur les différentes zones d'échantillonnage	61
Figure 33: représentation graphique de la distribution du taux de vitamine C sur les différentes zones d'échantillonnage.	63
Figure 34: représentation graphique de la distribution du taux de la valeur nutritionnelle sur les différentes zones d'échantillonnage.	64
Figure 35: représentation graphique de la distribution du taux de Polyphénols sur les différentes zones d'échantillonnage.	65
Figure 36: représentation graphique de la distribution du taux de Flavonoïdes sur les différentes zones d'échantillonnage.	66
Figure 37: représentation graphique de la distribution du pH sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.	67
Figure 38: représentation graphique de la distribution de la CE sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.	68
Figure 39: représentation graphique de la distribution de la P2O5 ass sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.	70
Figure 40: représentation graphique de la distribution du Calc tot sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.	71
Figure 41: représentation graphique de la distribution du Calc actif sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.	72
Figure 42: représentation graphique de la distribution de la Matière organique sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.	74
Figure 43: représentation graphique de la distribution de la Mg++ sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.	75
Figure 44: représentation graphique de la distribution de la K2O_ass sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.	76
Figure 45: représentation graphique de la distribution de la K+ sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.	77
Figure 46: représentation graphique de la distribution de la HCO3- sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.	78
Figure 47: représentation graphique de la distribution de la minéralisation sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.	79

Figure 48: représentation graphique de la distribution du Ca ⁺⁺ sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.	80
Figure 49: représentation graphique de la distribution du Cl ⁻ sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.	81
Figure 50: représentation graphique de la distribution des facteurs climatiques dans les différentes régions d'échantillonnage	81
Figure 51: représentation graphique de l'insolation au niveau des différentes zones d'échantillonnage	82
Figure 52: représentation graphique de l'intensité du vent au niveau des différentes zones d'échantillonnage	82
Figure 53: représentation graphique du taux d'humidité au niveau des différentes zones d'échantillonnage	83
Figure 54: représentation graphique du taux de rayonnement global au niveau des différentes zones d'échantillonnage	84
Figure 55: représentation graphique du taux de bilan hydrique au niveau des différentes zones d'échantillonnage	84
Figure 56: Représentation graphique de l'ACP; projection des variables du métabolite 1 et des observations sur le plan F1 x F2	89
Figure 57: Représentation du Dendrogramme des échantillons en fonction des variables du métabolite 1.	89
Figure 58: Représentation graphique de l'ACP; projection des variables du métabolite 1 sans glucide et des observations sur le plan F1 x F2	93
Figure 59: Représentation du Dendrogramme des échantillons en fonction des variables du métabolite 1 sans glucide.	93
Figure 60: Représentation graphique de l'ACP; projection des variables du métabolite 1 + 2 et des observations sur le plan F1 x F2	98
Figure 61: Représentation du Dendrogramme des échantillons en fonction des variables du métabolite 1+ 2.	99
Figure 62: Représentation graphique de l'ACP; projection des variables du métabolite 1 + 2 sans glucide et des observations sur le plan F1 x F2	102
Figure 63: Représentation du Dendrogramme des échantillons en fonction des variables du métabolite 1+ 2 sans glucide.	103
Figure 64: Représentation graphique de l'ACP; projection des variables des paramètres physico-chimique du sol et des observations sur le plan F1 x F2	106

Figure 65: Représentation du dendrogramme des échantillons en fonction des variables des paramètres physico-chimique du sol.	106
Figure 66: Représentation graphique de l'ACP; projection des variables des paramètres physico-chimique du sol sans le calcaire et des observations sur le plan F1 x F2	110
Figure 67: Représentation du dendrogramme des échantillons en fonction des variables des paramètres physico-chimique du sol sans calcaire.	110

Liste des tableaux

Liste des tableaux :

Tableau 1: Principaux constituants des différentes parties du grenadier	12
Tableau 2: Les valeurs nutritives de la grenade (pour 100g de portion comestible)	12
Tableau 3: Quelques variétés de la grenade	13
Tableau 4: classification en fonction du Diamètre	16
Tableau 5: classification en fonction du Poids	16
Tableau 6: listes des zones d'échantillonnage des fruits	25
Tableau 7: Nombre d'échantillon par zone de prélèvement	25
Tableau 8: La composition chimique du fruit de grenade	54
Tableau 9: Taux de polyphénols et des flavonoïdes	56
Tableau 10: Composition chimique des différents sols	57
Tableau 11: l'analyse des matrices des résultats du taux de la valeur énergétique	63
Tableau 12: La variation du pH dans les zones d'échantillonnages	66
Tableau 13: Echelle d'interprétation du pH	67
Tableau 14: La variation de la CE dans les zones d'échantillonnages	68
Tableau 15: Echelle d'interprétation de la CE	69
Tableau 16: La variation du P2O5 ass dans les zones d'échantillonnages	69
Tableau 17: La variation du Calcaire total dans les zones d'échantillonnages	70
Tableau 17: Echelle d'interprétation de la teneur en calcaire total	72
Tableau 18: La variation du Calcaire actif dans les zones d'échantillonnages	72
Tableau 19: La variation de la matière organique dans les zones d'échantillonnages	73
Tableau 20: Echelle d'interprétation du taux de la matière organique selon	74
Tableau 21: La variation du taux de magnésium dans les zones d'échantillonnages	75
Tableau 22: La variation du taux de K2O assimilable dans les zones d'échantillonnages	76
Tableau 23: La variation du taux de potassium dans les zones d'échantillonnages	76
Tableau 24: La variation du taux de HCO3 dans les zones d'échantillonnages	77
Tableau 25: La variation du taux de minéralisation dans les zones d'échantillonnages	78
Tableau 26: La variation du taux de calcium dans les zones d'échantillonnages	79
Tableau 27: La variation du taux de calcium dans les zones d'échantillonnages	80
Tableau 28: les résultats de la corrélation entre les composés chimiques du grenadier	87
Tableau 29: le choix des composantes principales	87

Tableau 30: résultat des moyennes de la composition chimique des grenadiers	88
Tableau 31: Résultats du regroupement des variables du métabolite 1	90
Tableau 32: Résultats de l'ACP des variables et des échantillons du métabolite 1	90
Tableau 33: Corrélacion entre les composés chimiques en absence de glucide	91
Tableau 34: Le choix des composantes principales en absence de glucide	92
Tableau 35: Les moyennes de la composition chimique du fruit en absence du glucide	92
Tableau 36: Le regroupement des variables du métabolite 1 en absence de glucide	94
Tableau 37: L'ACP des variables et des échantillons du métabolite 1 en absence	95
Tableau 38: corrélation entre les composés chimiques et les antioxydants	96
Tableau 39: Le choix des composantes principales	97
Tableau 40: Les moyennes de la composition chimique et des antioxydants	98
Tableau 41: Résultats du regroupement des variables du métabolite 1 et 2	99
Tableau 42: Résultats de l'ACP des variables et des échantillons	100
Tableau 43: La corrélation (composés chimiques – antioxydants) en absence de glucide...	101
Tableau 44: Choix des composantes principales	101
Tableau 45: Moyennes (composition chimique - antioxydants) en absence du glucide	102
Tableau 46: Regroupement des variables du métabolite 1 et 2 en absence de glucide	103
Tableau 47: ACP des variables et des échantillons en absence de glucide	104
Tableau 48: Le choix des composantes principales	104
Tableau 49: Moyennes de la composition physico-chimique du sol.	105
Tableau 50: Résultats du regroupement des variables des composantes du sol	107
Tableau 51: Résultats de l'ACP des variables et des échantillons des composants du sol ...	108
Tableau 52: Le choix des composantes principales	109
Tableau 53: Moyennes de la composition physico-chimique du sol (absence de calcaire) ..	109
Tableau 54: Regroupement des variables des composantes du sol en absence de calcaire ..	111
Tableau 55: ACP des variables des composantes du sol en absence de calcaire	112

Résumé

INFLUENCE DE LA NATURE DU SOL SUR LA QUALITE PHYTOCHIMIQUE DE LA GRENADE (PUNICA GRANATUM L.)

Résumé

Description du sujet : Généralement la consommation des fruits de grenade s'oriente plus sur la meilleure qualité gustative, mais lors de cette étude il est question d'établir une liaison entre le taux élevé d'antioxydant (qui ont un effet bénéfique dans la prévention de certaines maladies dont les cancers) et de quelques paramètres chimiques du fruit, à savoir, le taux de glucide, d'acidité titrable ainsi que la vitamine C.

Objectifs : L'étude a été menée dans l'objectif d'évaluer l'influence de la composition chimique du sol sur la qualité nutritionnelle et la teneur en antioxydants de la grenade *Punica granatum* dans différentes zones agro-écologiques d'Algérie.

Méthodes : L'échantillonnage s'est fait dans 7 wilayas (huit régions) d'Algérie répartie entre le nord et le sud. Une variété a été utilisée "*Sifri*" pour permettre cette étude. Une estimation des caractéristiques, de la qualité nutritionnelle (Protéines, Glucides, Lipides, Vitamine C) et de la teneur en antioxydants (Polyphénols et Flavonoïdes) du fruit a d'abord été effectuée. Par la suite, une vérification de l'effet des sols sur la qualité du fruit a été réalisée.

Résultats : Les résultats ont montrés que le taux du calcaire actif ainsi que les réserves en potassium total sont faible sur l'ensemble des sols étudiés. Cependant, 23,52% des sols sont considérés comme sol humifère (MO de 5% à 10%). Les éléments nutritionnels contenus dans le fruit de la grenade sont très fortement corrélés à la nature du sol. La richesse des grenades en antioxydants est donc proportionnelle à celle du sol en éléments minéraux, et un fruit sera plus riche en antioxydants s'il a une composition chimique pauvre en sucre et riche en acidité titrable et vitamine C.

Conclusion : Ce résultat préliminaire constitue une avancée dans la détermination de la qualité nutritionnelle des grenades à recommander pour les besoins alimentaires en Algérie.

Mots clés : Acidité, Antioxydants, Flavonoïdes, Glucides, Polyphénols, *Punica granatum*; Vitamine C.

SOIL NATURE INFLUENCE ON THE PHYTOCHEMICAL QUALITY OF THE POMEGRANATE FRUIT (*PUNICA GRANATUM L.*)

Abstract

Subject description: The pomegranate consumption is generally drawn by its taste quality; however, this study will demonstrate the link between high levels of antioxidants (known to carry beneficial effect in preventing certain disease notably cancers) and few chemical parameters of the fruit, namely the carbohydrate level, titratable acidity, and Vitamin C.

Objectives: The study was conducted to measure the influence of the soil's chemical parameters on the pomegranate's (*Punica granatum*) nutritional quality and levels of carbohydrates in the different agro-ecological areas of Algeria.

Methods: The sampling was performed in 7 Wilayas (eight regions) across Algeria, distributed between north and south. “*Sifri*” was the chosen variety during this study. First, a characteristics estimation of nutritional quality (Proteins, Carbohydrates, Lipids and Vitamin C) and antioxidants (Polyphenols and Flavonoids) levels measurement were performed. Then, a verification of the soil's effect on the fruit's quality.

Results: The results have shown that active calcium and potassium reserve levels were low in the studied soils; with 23.52% of soils considered as humus soils (MO from 5% to 10%). Nutritional elements of the pomegranate fruit are heavily correlated with the soil's components. Antioxidants abundance in the fruit is therefore proportional to the quantity of mineral elements in the soil. , and a fruit will be richer in antioxidants if it has a chemical composition low in sugar and high in titratable acidity and vitamin C.

Conclusion: The preliminary results constitute an advanced determination about the nutritional quality of pomegranates and how they can respond to Algeria's alimentary needs.

Key words: Acidity, Antioxidants, Carbohydrates, Flavonoids, Polyphenols, *Punica granatum*, Vitamin C.

تأثير طبيعة التربة على الجودة الكيميائية لثمرة الرمان

ملخص

وصف الموضوع: بشكل عام ، يكون استهلاك ثمار الرمان أكثر توجهاً نحو أفضل جودة مذاق ، ولكن خلال هذه الدراسة يتعلق الأمر بإيجاد صلة بين المستوى العالي لمضادات الأكسدة (التي لها تأثير مفيد في الوقاية من بعض الأمراض. بما في ذلك السرطانات) وبعض العوامل الكيميائية للفاكهة ، وهي مستوى الكربوهيدرات والحموضة القابلة للمعايرة وفيتامين ج الأهداف: أجريت الدراسة بهدف تقييم تأثير التركيب الكيميائي للتربة على الجودة الغذائية والمحتوى المضاد للأكسدة لرمان بونیکا جراناتوم في مناطق زراعية بيئية مختلفة في الجزائر

الطريقة: تم أخذ العينات في 7 ولايات (ثمانى مناطق) من الجزائر موزعة بين الشمال والجنوب. تم استخدام مجموعة للسماح بهذه الدراسة. تم تقدير الخصائص والجودة الغذائية (البروتينات ، الكربوهيدرات ، الدهون ، "Sifri" متنوعة فيتامين ج) ومحتوى مضادات الأكسدة (البوليفينول والفلافونويد) للفاكهة أولاً. بعد ذلك ، تم التحقق من تأثير التربة على جودة الثمار

النتائج: أظهرت النتائج أن معدل الحجر الجيري النشط وكذلك إجمالي احتياطي البوتاسيوم منخفض في جميع أنواع التربة من 5% إلى 10%). ترتبط العناصر الغذائية (OM) المدروسة. ومع ذلك ، فإن 23.52% من التربة تعتبر تربة دبال الموجودة في ثمار الرمان ارتباطاً وثيقاً بطبيعة التربة. وبالتالي ، فإن ثراء الرمان بمضادات الأكسدة يتناسب مع ثراء التربة في العناصر المعدنية ، وستكون الفاكهة أكثر ثراءً بمضادات الأكسدة إذا كانت تحتوي على تركيبة كيميائية منخفضة السكر وغنية بالحموضة القابلة للمعايرة وفيتامين سي

الخلاصة: تشكل هذه النتيجة الأولية خطوة إلى الأمام في تحديد الجودة الغذائية للرمان التي يجب التوصية بها للاحتياجات الغذائية في الجزائر

الكلمات الرئيسية: الحموضة ، مضادات الأكسدة ، الفلافونويد ، الكربوهيدرات ، البوليفينول ، بونیکا جراناتوم ؛ فيتامين ج (PUNICA GRANATUM L.) تأثير طبيعة التربة على الجودة الكيميائية لثمرة الرمان

Introduction

Introduction

Depuis de nombreuses années la médecine s'appuie fondamentalement sur les vertus des plantes médicinales et plus la recherche scientifique avance, plus il en ressort que certains végétaux présentent des caractéristiques en matière de guérison ou de prévention surprenantes, c'est pour cela qu'une meilleure connaissance de l'activité des actifs extraits des plantes devient une priorité.

Cette étude s'oriente vers un fruit qui depuis des années a marqué par son efficacité en matière de prévention vis à vis de certaines maladies telle que celles citées dans l'étude de Fuhrman et Aviram, en 2006 [24] pour lutter contre les maladies cardiovasculaires et ont démontré également que ce fruit avait un effet sur les plaquettes sanguines, empêchant la formation des thromboses ou bien l'étude qui montre que la consommation de grenade permet de baisser la tension artérielle comme stipulée dans les recherches de Ranade et al., 2009 [55] et beaucoup d'autres études ont prouvé que ce fruit du grenadier avait un effet considérable pour prévenir contre beaucoup de cancer à savoir le cancer du sein d'après l'étude de Kim et al., 2002 [39] ou bien le cancer du poumon d'après Syed et al., 2007 [60] et plusieurs pathologies, d'où l'intérêt majeur de mettre en lumière ce fruit et donc l'intérêt de réaliser des travaux de recherche autour du grenadier.

Ce fruit, c'est *Punica granatum* appelé couramment , la grenade, fruit du grenadier, cette arbre a été introduit en Algérie [10] et est cultivé dans plusieurs régions du pays, allant des zones du littorale et de la Mitidja jusqu'aux zones subarides, voir même au porte des zones arides, se frayant une place parfois au niveau de certains oasis comme retrouvé à Bechar.

Ce fruit a la particularité de présenter un nombre de variété très considérable, qui se sont adaptées aux différentes variations climatiques, ce nombre de variétés élevées a rendu les études autour de ce fruit très compliqué spécialement lors de l'identification, c'est pour cela qu'en Algérie ,il est très difficile de trouver des cultivars dédiés spécialement aux grenades.

D'un point de vue économique, une seule variété a été sélectionnée pour son gout sucrée et agréable au palais avec la particularité de ne pas présenter de pépins, c'est la variété "safri" qui a été plantée pour sa commercialisation car elle présente sa très fine peau, ses pépins juteux et à sa saveur sucrée, laissant donc les autres variétés se développer de manière

Introduction

sauvage chez l'habitant, la variété sélectionnée "*safri*", ne présente pas forcément les meilleures propriétés nutritionnelles ou les meilleures teneurs en antioxydants.

La présente étude, n'a pas pour but de comparer les différentes variétés entre elles afin de distinguer la meilleure, mais plutôt, elle a pour objectif principal, mettre en évidence et en lumière la synergie entre les paramètres physico-chimiques du sol, et l'impact climatique permettant d'obtenir les meilleures valeurs nutritionnelles, les taux d'antioxydants les plus élevés, la question est quelles conditions climatiques et quel sont les composants du sol favorisant donc les plus fruits les plus bénéfiques pour la santé.

C'est pour cela qu'un échantillonnage sur 21 arbre a été effectué, pris au hasard et répartis dans 8 zones d'études différentes en Algérie, chez des particuliers et pendant une période de récolte précise, à savoir, lors de la maturité des fruits.

Malgré les bienfaits nutritionnels et médicinaux du fruit du grenadier, sa consommation reste très faible en Algérie et bien derrière les oranges et les pommes, cela est due à la mauvaise connaissance de ce fruit et la difficulté de sa production sachant qu'il devient mature entre la fin de l'été et au début de l'automne et qu'il est extrêmement sensible aux facteurs climatiques ou les premières précipitations peuvent causer la perte des cultures.

Chapitre 1:
Recherche
bibliographique

Chapitre 1: Données générales sur *Punica granatum*

1. Biologie du fruit

1.2 L'histoire de *Punica granatum*

Le nom *Punica* correspond à l'appellation romaine attribuée à la ville de Carthage (banlieue nord de la Tunisie) car on y trouvait les meilleurs arbres grenadiers, ce dernier existe depuis l'antiquité et a toujours été très cultivé pour ses fruits comestibles : les grenades, et aussi pour ses jolies grandes fleurs [37]

1.3 Distribution de *P. granatum*

L'arbre grenadier est d'origine d'Asie occidentale, plus précisément dans les régions de l'Himalaya au nord de l'Inde allant jusqu'en Iran, puis, il a été exporté, cultivé et naturalisé depuis longtemps dans les régions du bassin méditerranéen et puis sa culture s'est répandue dans tous les continents, spécialement dans les zones tempérées chaudes telle que le Proche-Orient et les Etats Unis. La ville de Grenade en Espagne doit également son nom à la présence en abondance de cet arbre [45]

1.4 Classification botanique

- Règne : *Plantae*
- Division : *Magnoliophyta*
- Classe : *Magnoliopsida*
- Ordre : *Myrtales*
- Famille : *Punicaceae*
- Genre : *Punica*
- Espère : *P. granatum* [9]

1.5 Dénomination scientifique

Le Grenadier a été introduit pour la première fois sous l'appellation de *Punica granatum* L., dans le «*Species plantarum*», par Linné, en 1753.

Embranchement: Spermatophyta

Sous-embranchement: Angiospermae

Classe: Dicotyledonae

Sous-classe: Dialypétales

Série: Caliciflores

Ordre: Myrtales

Famille: Punicaceae

Genre: *Punica* L.

Espèce: *Punica granatum* L.

1.6 Dénomination communes

- En France : Arosse, Balaustier, Granatier, Grenadier, Migranier.
- En Allemagne : Balluster, Echter, Gemeine grante, Granat, Granatbaum, Margaretenblum.
- En Angleterre : Carthaginian-apple, Dwarf Pomegranate, Pome granat, Pome granate, Pome granate free.
- En Espagne : Granado, Mangrano.
- En Flamand : Granaatboom.
- En Italie : Granata, Granato, Melograno, Me Pagrana.
- Au Japon : Zakuro.
- Au Portugal : Granatbaum, Româ, Romanzeiro, Romazeira, Romeira de Granada.

1.7 Botanique

1.7.1 Description générale du grenadier.

Punica granatum existe sous forme d'arbre ou arbuste buissonnant pouvant atteindre 5 à 6 m de hauteur. Il existe dans le bassin méditerranéen: soit cultivé ou de façon sub-spontané [25]

1.7.2 Les feuilles.

Le grenadier présente des feuilles disposées de manière opposé, elles peuvent être isolées ou regroupées en verticilles sur le même pied.

Les feuilles sont généralement glabres sur les deux faces, celle supérieure est de couleur vert foncé (voir Figure 01) et possède des médianes clairement déprimées, par contre la face interne de la feuille est de couleur verte claire dont la nervure est médiane et est très saillante.



Figure 01 : Feuilles lancéolées de *Punica granatum*. [g]

Ces feuilles entières, brillantes et coriaces présentent un limbe elliptique allongé, qui varie de 3 à 8 cm de long. Le sommet des feuilles est soit obtus ou bien allongé et elles sont équipées d'un petit pétiole de 1 à 5 mm de longueur et de couleur rougeâtre [25], Par contre elle ne possède pas de stipule [28]

1.7.3 Les fleurs.

Les fleurs sont généralement de couleurs rouges pourpres voir même grenats et sont soit solitaires ou en petites cymes pauciflores, elles sont également appelées balaustes. [53]

La forme des fleurs confère au grenadier le statut de plantes très ornementales.

Ces fleurs sont portées soit par un court pédoncule solitaire présent à l'aisselle de feuilles ou bien elles sont regroupées au sommet des branches.

La floraison a lieu entre les mois de mai et de juillet [25].

Les fleurs du grenadier sont actinomorphes et hermaphrodites. [21] et lorsqu'elles sont séchées elles ne présentent aucune odeur, quant au goût, elles ont une saveur aigre et astringente qui confère à la salive une coloration violacée [53]

1.7.3.1 Diagramme floral.

La représentation du diagramme floral est schématisée sur la figure 2



Figure 02 : Diagramme d'une fleur de *Punica granatum*. [d]

1.7.3.2 Le calice.

Il est formé généralement de 4 jusqu'à 8 sépales courts, épais, charnue, de coloration rouge flamboyante (voir Figure 03), il est persistant [25].

Ces sépales présentent une préfloraison valvaire. [21]



Figure 03 : Grenades et leur calice denté. [o]

1.7.3.3 La corolle.

Elle est composée généralement entre 4 jusqu'à 8 pétales fines, alternées avec les sépales, les pétales sont généralement bien colorés, rouges, voir oranges vif, mais il en existe d'autres couleurs en fonction des nombreuses variétés tel que blanche, jaune pâle, saumon ... etc. (voir la figure 04).

Il a été remarqué que le grenadier sauvage avait tendance à posséder des pétales simples alors qu'ils étaient doublés chez les grenadiers cultivés, formant donc des variétés à fleurs doubles.



Figure 04 : Fleurs aux sépales charnus et rouges et aux pétales froissés. [g]

1.7.3.4 Le gynécée.

Il est formé des carpelles, dont le nombre varie entre 8 à 9, et est soudé au niveau du tube du calice pour être disposé sur deux verticilles.

L'ovaire est infère et est surmonté par un style conique qui se termine par une tête stigmatique [25]

1.7.3.5 Les étamines.

Elles sont très nombreuses et libres, elles tapissent la paroi interne du réceptacle floral en débutant de la corolle. [21]

Les étamines ont des anthères biloculaires et sont introrses, versatiles et à déhiscence longitudinale (voir la figure 05). [21]



Figure 05 : Fleur et ses nombreuses étamines. [b]

1.7.4 Les fruits.

1.7.4.1 La baie.

Ce fruit rond cortiqué qui est la grenade possède un épicarpe dur et cutinisé, pouvant allant entre 2 et 12 cm de diamètre. [19]

D'après la variété le fruit du grenadier, change de couleurs pouvant être de teinte blanche jaunâtre, rouge voir violette.

Le calice surmonte la baie, pour former une couronne dentée ; qui facilite son identification [14]

Le péricarpe non comestible est épais et coriace, forme une écorce rigide (voir la figure 06) [25]

La grenade présente une placentation hétérogène. [11]



Figure 06 : Grenade et ses nombreuses graines. [1]

Il a été constaté qu'après fécondation de la fleur du grenadier, il y'a accroissement du tube du calice qui porte les carpelles externes au dessus des autres.

Le fruit se trouve composé de deux rangées de loges superposées, sachant que dans la rangée inférieure la placentation est axile, alors qu'elle est pariétale au niveau de la rangée supérieure. [25]

1.7.4.2 Les graines.

Chaque baie contient de nombreuses graines renfermées dans des loges et séparées distinctement par des cloisons membraneuses et chaque graine possède un mésocarpe charnu, acidulé, sucré et gélatineux, ce qui représente la partie comestible du fruit [8].

Lors de la croissance des fruits, les graines prennent une forme anguleuse due à la compression réciproque (voir la figure 07) [21]

L'embryon, exalbuminé, est formé d'une courte radicule et de deux larges cotylédons auriculés, enroulés en spirale l'un sur l'autre. [21]



Figure 07 : Graine au mésocarpe charnu et gélatineux. [n]

1.7.4.3 L'écorce du fruit.

L'écorce est la partie dure de la grenade et est dite *malicorium*, elle est formée d'un parenchyme de cellules à parois minces qui contient des cellules pierreuses et des faisceaux fibro-vasculaires.

Il est possible de l'utiliser sous sa forme séchée, bien que la saveur est amère et astringente.

Elle porte généralement des marques dues aux empreintes des graines qui y ont exercés une pression [53]

1.7.5 L'écorce de la racine.

Sa racine est dure, pesante et ligneuse [29] et est constituée de fragments irréguliers, d'un millimètre d'épaisseur environ, pouvant être cintrés ou enroulés.

Elle possède deux faces, celle externe est grise jaunâtre ou brunâtre et est constituée d'écailles subéreuses avec des fissures, quant à la face interne jaune verdâtre, elle est finement striée longitudinalement et lisse.

Une légère couleur jaune claire montre de fines stries radiales et transversales qui sont dite: le liber [25].

Les rayons médullaires sont unisériés, cette disposition donne à la coupe un aspect strié assez régulier.

On remarque, la présence de gros sclérites à paroi très épaisse à cavité presque nulle au niveau du parenchyme et du liber [25]

1.7.6 L'écorce de la tige.

C'est un ensemble de fragments cintrés ou tuyaux qui sont nettement plus long que ceux de la racine.

La surface externe peut être lisse et intacte ou bien rugueuse et crevassée et les plaques subéreuses sont très minces par rapport à la racine [25]

1.7.7 Illustration générale des différents organes.

Le grenadier est disposé en plusieurs organes notamment les fruits, les fleurs et les graines qui sont représentés dans la figure 08.



Figure 08 : Le grenadier, *Punica granatum* L. [i]

1.8 Photochimie et activités thérapeutiques de *P. granatum*

L'intégralité des parties des grenadiers possèdent des propriétés thérapeutiques, en allant de l'écorce, des racines, des feuilles jusqu'au tronc et grâce aux recherches scientifiques, il a été identifié la présence d'ellagitannins, qui est le principal constituant thérapeutique.

1.9 Les constituants des différentes parties du grenadier

La composition chimique du fruit du grenadier varie d'une partie à une autre comme le montre le tableau 1 ci-dessous, on remarque une grande diversité des constituants, plus particulièrement au niveau des écorces et du zeste du fruit.

Tableau 1: Principaux constituants des différentes parties du grenadier [37]

Partie du fruit	Composition
Jus de fruit	Anthocyanines, glucose, acide ascorbique, acide ellagique, acide gallique, acide caféique, catéchines, EGCG, quercétine, rutine, nombreux minéraux, acides aminés
Huile de graine	95 % acide punique, acide ellagique et autres acides gras, Stérols
Péricarpe (écorce et zeste) de fruit	Punicalagins phénoliques, acide gallique et autres acides gras, catéchine, EGCG, quercétine, rutine, et autres flavonoles, flavones, flavonones, anthocyanidines
Feuilles	Tannins (punicalin et punicafolin) et flavones glycosides (lutéoléine et apigénine)
Fleurs	Acide gallique, acide ursolique, triterpenoïdes
Racines et écorce	Ellagitannins (punicalins et punicalagins), nombreux alcaloïdes Pipéridines

1.10 La valeur nutritive de la grenade:

Elle est due à sa teneur, en glucide: constituée à part égale de fructose et de glucose sachant qu'elle contient également du saccharose mais en très faible quantité comme le montre le tableau 2.

Une grenade peut fournir jusqu'à 68Kcalories (285 Kjoules) pour 100 g de partie comestible.

Le tableau 2: Les valeurs nutritives de la grenade (pour 100g de portion comestible). [e]

Energie	68 kCal soit 284 kJ
EAU	80,97 g
Protéine	0,95 g
Lipides	0,30 g
Glucides	17,17 g
Fibres alimentaires	0,6 g

1.11 Les variétés à fruits :

Le grenadier appartient alors à la famille des Lythracées, cette famille comporte 30 genres et 600 espèces. [10]

Il existe un nombre très élevé de variétés de grenadier dans le monde, dont quelques unes sont représentées dans le tableau 3: [62]

Le tableau 3: Quelques variétés de la grenade

VARIETES	PERIODE DE MATURITE	TAILLE DES FRUIT	CARACTERISTIQUE	GRAINS
<i>Blanca</i>	Sep/oct	Moyen	Peau lisse	Roses
<i>Dulce Colorada</i>	Oct	gros	Peau lisse et fine	Rouge
<i>Cagin</i>	Oct	gros	Colorée	Rouge et tres acide
<i>Pignonenca</i>		gros	Colorée	Rouges
<i>Meknes</i>				Sans grains
<i>Zéri</i>	Aout/sep	gros	Peau ferme	Rouges
<i>Gabsi</i>	Sept	gros	Peau jaunâtre	
<i>Chelfi</i>	Sept/oct	gros	Teintés de rouge	
<i>Tounsi</i>		gros	teintés de rouge	Pulpe très colorée
<i>Maiki</i>	Oct	gros	Peau ferme et jaune	Gros
<i>Djelbi</i>	Nov/Dec	Tres gros	Rouge foncé	
<i>Guissepe</i>	Oct	Tres gros	Peau rouge à brune	Gros
<i>Douce de patras</i>	Oct	Tres gros	Peau fine et dure	Tres acide et rouge
<i>Denagra</i>	Oct	Gros	Peau épaisse	Rouge
<i>Chio</i>	Oct	Gros	Peau colorée	Petit et rouge
<i>De Jaffa</i>			Peau colorée	
<i>De provence</i>	Oct			Acide
<i>Blanche de Kandagar</i>	Aout	Tres gros	Blancs à jaune clair	Gros et pâle
<i>Rouge de Kandagar</i>	Fin sept	Tres gros	Rouge écarlate	Rouge
<i>Noire de Kandagar</i>	Nov	Tres gros	Rouge foncé violacé	Rouges
<i>Ak anar</i>	Sept	moyen	Peau épaisse, jaune	Pâle
<i>Tcherherdeksis</i>	Oct	gros	Jaune teinté de rouge	Tres tendres
<i>Karaè-anar</i>	Dec	gros	Peau ferme rouge	Rouge grenat
<i>Aswad Selimi</i>			Peau très foncée	
<i>Mellassi</i>	Sept	Très gros		Pâle et tendre
<i>Selimi</i>	Oct	Très gros	Ferme et rouge écarlate	Petit et tendres
<i>Roman Chouall</i>	Nov	gros	Peau fine et violet foncé	Gros et rouges
<i>Nejidi</i>	Nov	Gros	Peau fine colorée	Rouge

Il existe encore de nombreuses autres variétés et il est extrêmement difficile de les distinguer et de les identifier.

En Algérie on note également un nombre impressionnant de variétés, tel que ; *el Qares*, *safri*, *sans pépins*, mais en plus des variétés dont les baies sont comestibles, on en retrouve d'autres cultivées dans des buts ornementaux et ce sont des grenadiers qui présentent de belles fleurs ornementales, très colorées qui se répartissent en plusieurs catégories:

- Variétés à fleurs simples
- Variétés à fleurs doubles
- Variétés naines cultivées en Bansaï (figure 09)



Figure 09 : Grenadier nain cultivé en bonsaï. [c]

2. Les normes internationales pour le grenadier.

Généralement certaines variétés de fruit de grenadier (*Punica granatum*), de la famille de Punicaceae, sont sélectionnées et destinées à être commercialisées livrées à l'état frais aux consommateurs et ceci suite au conditionnement puis à l'emballage, sauf les grenades destinées à la transformation industrielle.

Mais pour cela, les grenades doivent être sélectionnées d'après certains critères pour répondre à des normes internationales. [20]

2.1 Les dispositions concernant la qualité.

2.1.1 Caractéristiques minimales.

Comme pour la majorité des fruits de grenades, elles doivent présenter certaines particularités qui sont:

- Etre saines et entières; non altérées par des ravageurs ou qui ont subi des humidités extérieures anormales. [20]
- Les grenades doivent être mures d'après les critères propres de la variété et à la région de leurs production.

2.2 Classification.

Un CODEX STAN 310-2013 a été établi afin de permettre de classer les grenades d'après des catégories [20]:

2.2.1 La catégorie extra

Ce sont les grenades dites de qualité supérieure, car elles présentent des caractéristiques typiques de la variété, sans défauts, mis à part une très légère altération superficielle, à condition qu'elle ne porte pas atteinte à l'aspect général du fruit, à sa qualité et à sa conservation.

2.2.2 La catégorie I

Les grenades de cette catégorie sont de bonnes qualités.

Elles doivent également présenter les caractéristiques de la variété, bien qu'elles peuvent toutefois avoir de légers défauts dans la : forme; la coloration; de la peau, y compris des fissures.

2.2.3 La catégorie II

Cette catégorie comprend les grenades n'appartenant pas aux deux catégories supérieures précédentes.

Elles peuvent présenter certains défauts, mais doivent conserver leurs caractéristiques essentielles de qualité et de conservation et de présentation.

2.3 La disposition concernant le calibrage

L'une des caractéristiques les plus marquantes est le calibrage qui s'effectue en fonction du nombre, du diamètre ou du poids

- Lorsque le calibre est déterminé par le nombre, il fait référence au nombre de fruits
- Le calibre des grenades peut être déterminé selon leur diamètre (le diamètre maximum de la section équatoriale de chaque fruit) représenté dans le tableau 4.
- Le poids est représenté d'après le tableau 5 [20]

Tableau 4: classification en fonction du Diamètre [20]

	Code calibre	Diamètre en mm
1	A	> 81
2	B	71-80
3	C	61-70
4	D	51-60
5	E	40-50

Tableau 5: classification en fonction du Poids [20]

	Code calibre	Poids en gramme
1	A	>501
2	B	401-500
3	C	301-400
4	D	201-300
5	E	125-200

3. Description générale et conditions de milieu

3.1 La culture du grenadier.

Le grenadier est bien adapté au climat que présente la méditerranée, c'est un arbuste dont la durée de vie est assez longue, il arrive à s'acclimater parfaitement à plusieurs différents milieux, mais néanmoins il reste exigeant sur certaines conditions du milieu pour une bonne fructification. [I]

3.2 Les exigences de milieu.

3.2.1 Les conditions climatiques.

L'arbre du grenadier s'adapte au climat des tropiques ou bien à celui des régions tempérées mais possède une meilleure affinité avec le climat tropical qui est généralement chaud, mais présente une variation importante de taux de pluviométrie, à vrai dire, lorsque l'on rencontre des températures assez élevées au dessus de 27°C, cela correspond à la période de maturité des fruits du grenadier.

Le grenadier supporte parfaitement la sécheresse (avec des températures très élevés allant à 34°C) , par contre cela a un impact sur la qualité et au calibre des fruits généralement plus petit et moins juteux, l'une des conditions pour qu'il puisse s'adapter au climat chaud et sec est que ses racines ne doivent pas manquer d'eau , autrement le fruit ne se développe pas du tout [I] donc de manière générale, on le retrouve dans les zones où les températures sont supérieures à 15°C [p]

3.2.2 Le sol.

L'arbre du grenadier ne présente pas de grandes exigences en relation avec la nature du sol, car il tolère des terrains acides, alcalins, crayeux ou autre et il résiste à des terres possédant un taux acceptable de salinité [p]

Le grenadier possède une affinité avec les terrains argilo limoneux, qui est considéré comme une terre très riche en Limons; et par opposition à un sol sableux est plus compact, et il retient suffisamment l'eau et les minéraux qui sont essentiel pour les grenadiers.

3.2.3 L'eau.

Afin d'obtenir de belles baies et des fruits de grandes quantités et surtout de bonnes qualités, il est indispensable d'irriguées les racines, d'ailleurs depuis longtemps les perses et les turcs stipulent qu'il est indispensable que le grenadier doit avoir :« les pieds dans l'eau et la tête au soleil ». [I]

3.2.4 Soins culturaux

Entretien régulier: Comme tout arbre, pour un meilleur rendement, il est recommandé de détruire les mauvaises herbes. [I]

3.2.5 Engrais

Contrairement à ce qu'on pourrait croire il faut éviter d'utiliser les engrais riches en azote, par contre il est recommandé de favoriser des engrais phosphatés qui ont une influence positive sur la fructification et cette opération doit être effectuée à l'arbre en hiver. [I]

3.3 La multiplication.

La multiplication du grenadier peut se faire par plusieurs méthodes : [I]

3.3.1 Le semis.

Elle s'effectue sur les graines récoltées la même année pendant le printemps et de variété généralement acide à maturité tardive. [I]

3.3.2 La bouture.

Il fonctionne assez bien sur le grenadier pour donner de bons résultats, c'est un mode de reproduction à multiplication végétative, qui s'effectue entre le mois de février et de mars. Les boutures sont généralement taillées entre 20 à 25 cm de longueur et de 0,5 cm d'épaisseur et sont mises en pépinière, de telle sorte qu'un seul œil reste au dessus du sol, tous les autres étant encrées pour qu'elles puissent s'enraciner facilement et rapidement, jusqu'au printemps de l'année suivante, elles peuvent être mises en place. [I]

3.3.3 Le marcottage.

Cette méthode a pour principe d'enraciner un rameau alors que celui-ci reste toujours solidaire de la plante mère, c'est un mode de multiplication végétatif, par conséquent la partie de la plante en terre émet des racines adventives et lorsque les racines sont développées, on coupe la branche qui lie la jeune plante de celle de la plante mère. [I]

3.3.4 Le drageon.

C'est un petit rejet de la racine de la plante qui aura acquis de la force et de l'autonomie pour être séparé de la plante mère et mis en terre, ce qui formera un nouveau pied, c'est un mode de reproduction végétatif et c'est l'un des procédés les plus employés dans la région méditerranéenne. [I]

3.3.5 La greffe.

C'est l'association de deux unités; le porte-greffe et le greffon, pour obtenir un organisme hybride, ce qui va aboutir à une plante dont la partie greffé est génétiquement différente du pied lui-même. [I]

3.4 La fructification et la récolte des fruits.

3.4.1 La fructification.

La fructification débute lors de la quatrième année et le facteur majeur est l'irrigation qui permettra d'obtenir une qualité de fruit optimale, l'abondance de l'arrosage est proportionnelle aux gros fruits produits, mais le cas contraire provoque l'éclatement du fruit et par conséquent la baie devient inconsommable. [I]

3.4.2 La récolte des fruits

C'est lorsque l'écore commence à rougir qu'il est le plus prudent de procéder à la cueillette des grenades avant la maturité complète, car le fruit peut se fendre sur l'arbre lorsqu'il est tout à fait mûre [I]

La récolte se fait entre la fin du mois d'aout et le début du mois de décembre, mais il est fortement déconseillé d'attendre que le climat devient humide. [I]

4. Les composés actifs des grenades: les antioxydants

4.1 Les polyphénols

Les végétaux sont capables de synthétiser plusieurs substances différentes naturelles secondaires, autres que les protéines, glucides et lipides (métabolites primaires), ces substances secondaires sont des molécules intéressantes car utilisables également chez l'homme.

Ces substances secondaires sont issues de plusieurs groupes chimiques dont: les alcaloïdes, les terpénoïdes et les composés phénoliquesEtc

On parle de métabolites secondaires en se basant sur 3 groupes d'observation:

- Incapacité ou difficulté à attribuer une fonction précise de ces substances au niveau de la physiologie de la plante.
- Chez les végétaux ces substances sont réparties de manière inégale.
- Inertie biochimique qui se traduit par le fait que ces substances ne se remobilisent pas généralement après accumulation dans la plante [43]

La présence d'un cycle aromatique à 6 carbones est la caractéristique principale commune aux 8000 molécules appartenant aux groupes de Polyphénols (composés phénoliques).

Ce cycle aromatique à 6 carbones peut porter différents nombres de fonction hydroxyles engagées ou libres dans une autre fonction [33] [23].

Il est possible d'associer aux Polyphénols d'autres métabolites secondaires comme les alcaloïdes et les huiles essentielles, dont la structure de base est un noyau benzénique, dans cette optique la, pour mieux cerner les limites de ce groupe de composé, on se réfère à des critères biosynthétiques [14]

4.1.1 Biosynthèse des Polyphénols

Seules les végétaux et certains microorganismes sont capables de synthétiser des noyaux benzoïques, issus de deux principales voies d'aromagenèse:

a- La voie de l'acide shkimique:

C'est la voie qui débute par des oses vers des acides aminés aromatiques , la réaction est représentée dans la figure 10 [30]

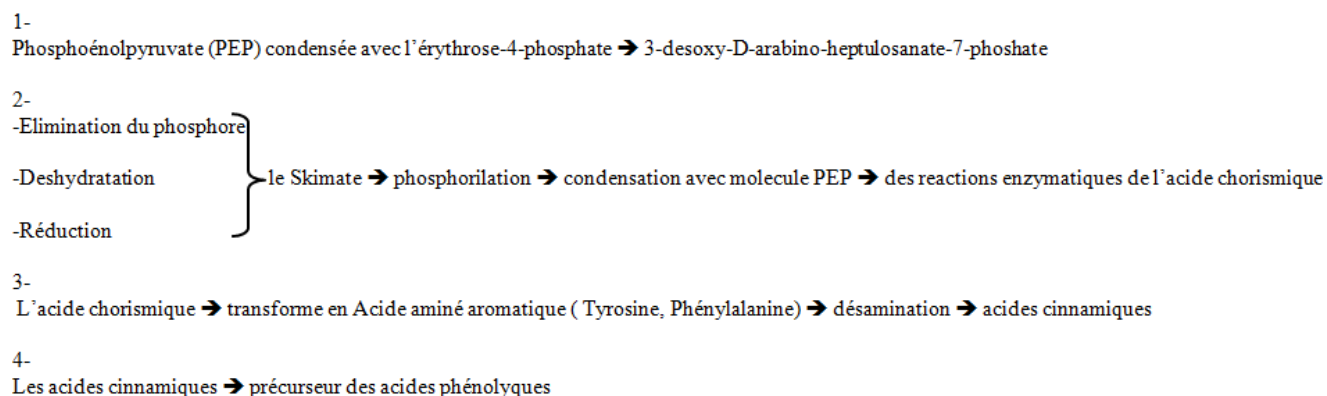


Figure 10: voie de formation du précurseur des acides phénoliques [46]

b- La voie des polyacétates

Cette voie est due à la condensation répétée d'unités acétates pour former un acide polycétonique

Acide polycétonique => cyclisation => noyaux benzénique (à chaîne latérale)

Cette seconde voie aboutit à un deuxième noyau benzénique chez certaines espèces végétales supérieures pour plusieurs composés qui ont déjà un noyau aromatique issu de la voie Shkimate: c'est ce qu'on appelle les composés mixtes, principalement des Flavonoïdes [14] [30].

4.1.2 Classification et structures des polyphénols

La classification se fait en fonction du poids moléculaire: c'est-à-dire, du plus faible, simple noyau aromatique, jusqu'aux tanins complexes, Ils peuvent aussi être classés par nombre ou organisation des atomes de carbone, en fonction de la nature du squelette carboné ou même de la chaîne aliphatique liée au noyau benzénique comme représentés dans la figure 11.

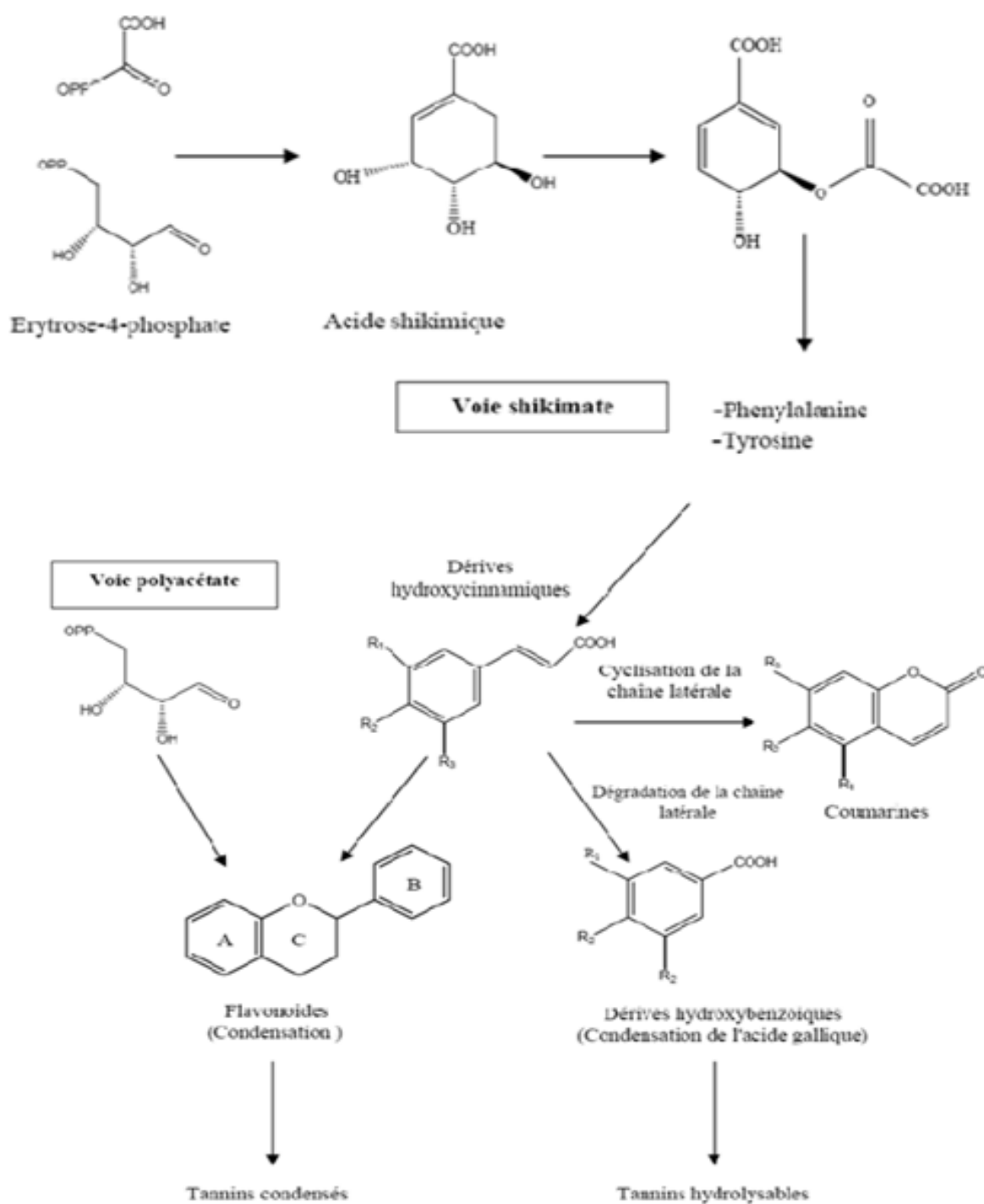


Figure 11 : Voies de biosynthèse des différentes classes de composés phénoliques [12]

Les Polyphénols sont repartis en deux grands groupes [52]

4.2 Les non Flavonoïdes

Tel que l'acide phénolique, acide hydroxycinnamique, les stilbènes et les tannins hydrolysables) ce sont des molécules simples.

4.3 Les Flavonoïdes

Ce sont des pigments qui confèrent généralement des colorations jaunes, oranges et rouges de plusieurs organes végétaux, c'est le nombre le plus élevés de polyphénols soit plus de 6 000 molécules isolées qui ont la même origine biosynthétique ayant un même squelette de base à quinze atomes de carbones (C6-C3-C6) constitué de deux unités aromatiques,

Les flavonoïdes représentés dans la figure 12, existent sous plusieurs groupes: les flavonols, les flavones, les flavan-3-ols, les isoflavones et les anthocyanidines. [56]

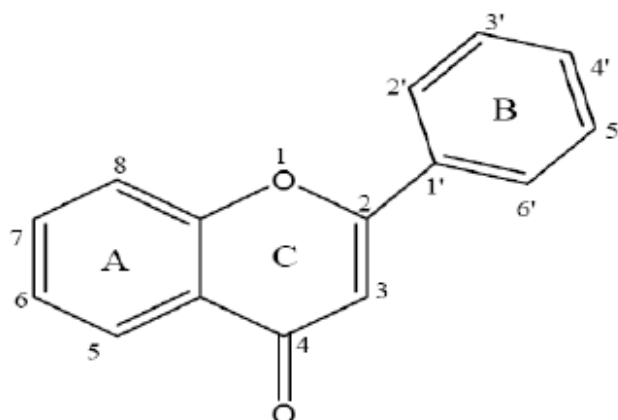


Figure 12: Structure de base des Flavonoïdes [56]

4.4 Propriétés des polyphénols

4.4.1 Biologique

Les Polyphénols possèdent des propriétés médicinales et ont déjà été utilisés autres fois par la pharmacopée traditionnelle asiatique; tel que les activités anti-inflammatoire, anti allergique, hépato protectrice, anti thrombotique, anti cancérigène et antivirale, mais la propriété la plus marquante est l'activité antioxydante due à leur haute réactivité, piégeant les radicaux libres, tel que les radicaux hydroxyles (OH), les radicaux peroxylipidiques et les superoxydes (O₂⁻). Les flavonoïdes ont la capacité d'inhiber certaines enzymes dont l'ARN polymerases, ADN synthétase, les hydrolases et certaines enzymes impliquées dans le stress oxydant [32]. voir annexe (III)

4.4.2 Physico-chimique

En générale il est possible d'extraire les composés phénoliques en se basant sur leur solubilité par des solvants polaires tel que l'éthanol, le méthanol. [43] [49] [41].

La totalité des Polyphénols absorbent dans l'UV [43].

(Composition en antioxydants des grenades en Annexe 1)

Chapitre 2:

Matériels et méthodes

5. Les zones d'échantillonnage.

Les échantillonnages ont été effectués sur 8 zones d'études dans 7 wilayas d'Algérie (voir figure 13) pour aboutir à un nombre de 21 échantillons de fruit de grenadiers et de terre, regroupés dans le tableau 06, et le nombre d'échantillon par zone de prélèvement dans le tableau 7.

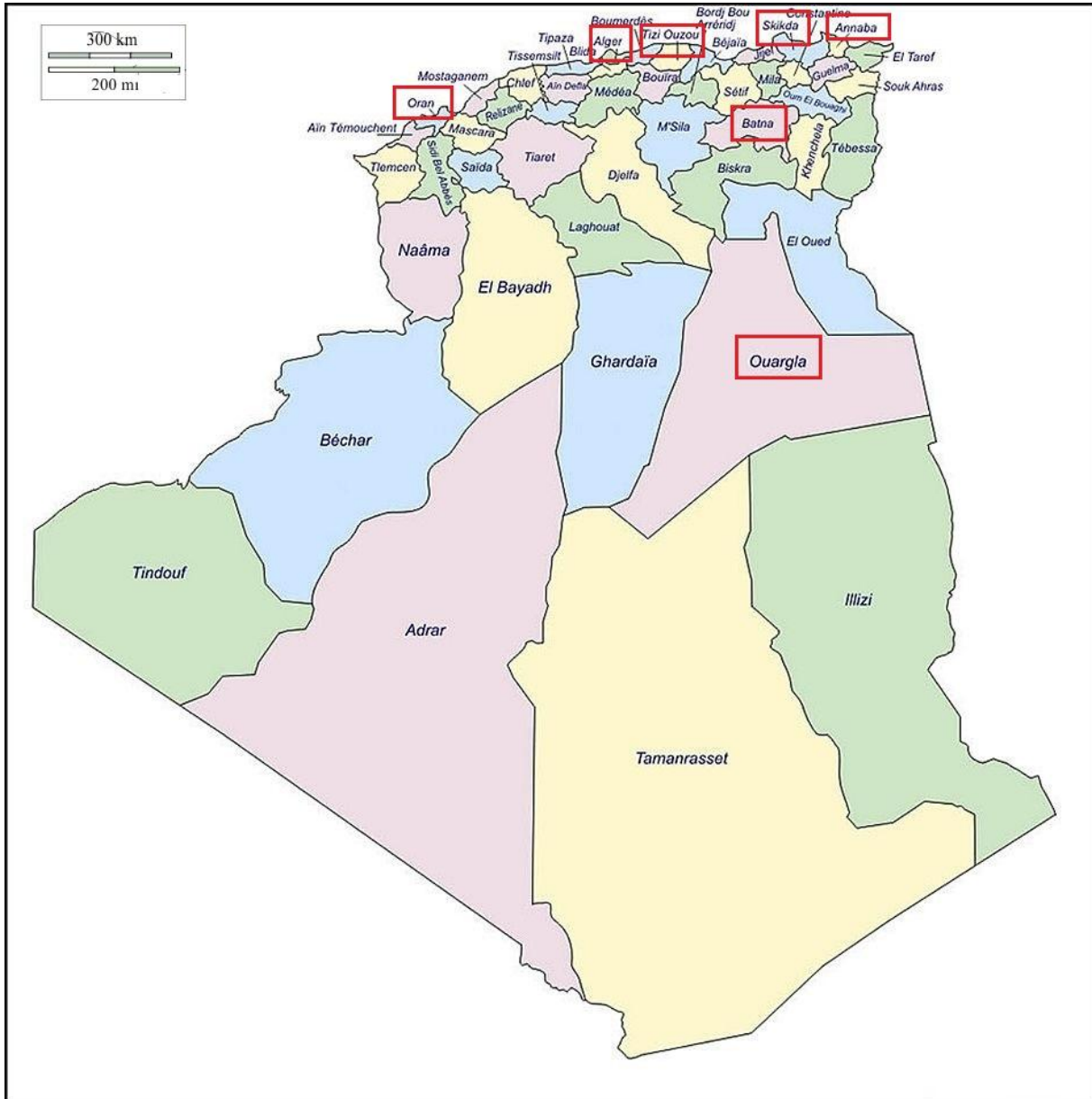


Figure 13: Carte géographique de l'Algérie et représentation des zones d'échantillonnage

Tableau 6: listes des zones d'échantillonnage des fruits

WILAYA	NOM INITIAL
ALGER	E01
DAR EL BEIDA	E02
ALGER	E03
ALGER	E04
ALGER	E05
ALGER	E06
ALGER	E07
SKIKDA	E08
SKIKDA	E09
TIZI OUZOU	E10
DAR EL BEIDA	E11
ORAN	E13
BATNA	E14
BATNA	E15
TIZI OUZOU	E16
TIZI OUZOU	E17
TIZI OUZOU	E18
ANNABA	E19
OUARGLA	E20
DAR EL BEIDA	E21
TIZI OUZOU	E22

Tableau 7: Nombre d'échantillon par zone de prélèvement

WILAYA	NOM INITIAL
ALGER	06
DAR EL BEIDA	03
ANNABA	01
BATNA	02
TIZI OUZOU	05
OUARGLA	01
SKIKDA	02
ORAN	01

5.1 Les caractéristiques des Wilaya des zones d'études.

La région d'Alger.

C'est la capitale du pays, elle doit son statut à sa taille, ses fonctions. Alger est située au nord –centre du pays (Figure 14) et elle s'étend sur plus de 809 Km², Dont les coordonnées GPS sont : Latitude 36°48'49" Nord Longitude :03°14'56"Est, elle se caractérise par un climat méditerranéen tempéré qui a comme particularité; de longs étés chauds et secs et des hivers doux et humides, la neige est rare, les pluies sont abondantes et peuvent être diluviennes. Il fait généralement chaud surtout de la mi-juillet à la mi-août, la température varie généralement de 6°C à 30°C. [a]



Figure 14: représentation géographique de la wilaya d'Alger [a]

La région d'Annaba.

Annaba est une ville côtière de l'Est d'Algérie, elle est située à 600 km de la capitale à l'extrême Est du pays (Figure 15) et est ouverte sur le littoral méditerranéen sur 80 km. Dont les coordonnées GPS sont : Latitude 36° 55' 0" Nord Longitude 7° 40' 0" Est, elle

est caractérisée par des collines et de plaines et son climat est de type méditerranéen, humide en hiver, chaud en été. Concernant la pluviométrie, elle varie entre 650 et 1000 mm/an et la température moyenne varie entre 14° et 34°C [a]



Figure 15: représentation géographique de la wilaya de Annaba [a]

La région de Batna.

La wilaya de Batna est localisée au nord-est de l'Algérie (figure 16), dans la région des Aurès, d'une Superficie de 12.038,76 kms². Dont les coordonnées GPS sont : Latitude 35°32' 60" Nord Longitude 6° 10' 0.001" Est. Son climat est celui d'une région semi-aride et la température moyenne est de 4°C en janvier et de 35°C en juillet. Durant l'hiver la température descend en dessous de zéro la nuit avec souvent des gelées (présence de verglas) [a]



Figure 16: représentation géographique de la wilaya de Biskra [a]

La région d'Ouargla

La wilaya d'Ouargla dont le territoire est de 163 230 km² se positionne au centre du Sahara (figure 17).

Dont les coordonnées GPS sont : Latitude: 31°56.9592'Nord Longitude: 5°19.5012' Est. Les températures moyennes mensuelles enregistrées au mois le plus chaud (juillet) sont de 48°C à Touggourt et de 50° C à Hassi Messaoud, alors que celles du mois le plus froid (janvier) sont de 10,8° C à Touggourt et de 9,7° C à Ouargla. [a]



Figure 17: représentation géographique de la wilaya de Ouargla [a]

La région de Tizi Ouzou

La Wilaya de Tizi-Ouzou présente un relief montagneux qui s'étale sur une superficie de 2 994 km², elle comprend une chaîne côtière (figure 18), Dont les coordonnées GPS sont : Latitude 36° 42' 42 Nord Longitude 4°2' 45 Est, elle se situe sur la zone entre les masses d'air polaire et tropical, sachant que depuis le mois d'octobre jusqu'au mois d'avril elle est caractérisés par une saison froide et humide et que les autres mois de l'année sont caractérisé par la chaleur et sécheresse. La température varie généralement de 5°C à 31°C. [a]



Figure 18: représentation géographique de la wilaya de Tizi Ouzou [a]

La région de Skikda.

La wilaya de Skikda s'étend sur une superficie de 4 118 km² et est située dans la partie Nord-est du pays (figure 19), dans l'espace géographique compris entre l'Atlas Tellien et le littoral méditerranéen, elle dispose de 140km de côtes, Dont les coordonnées GPS sont : Latitude 36° 52' 34.21" Nord Longitude 6°54'33.16" Est, Les températures sont douces en hiver (11°C en Janvier) et chaude en été (24°C en Août) sur le littoral, et sont moins douces en hiver 9°C et plus chaudes en été 27° C au niveau du territoire intérieur. [a]



Figure 19: représentation géographique de la wilaya de Skikda [a]

La région d'Oran.

C'est une ville portuaire de la Méditerranée, située au nord-ouest de l'Algérie (figure20), Dont les coordonnées GPS sont : Latitude $35^{\circ}41'49.00''$ Nord Longitude $0^{\circ}37'59.00''$ West, La région d'Oran est caractérisée par un climat méditerranéen sec, des hivers doux, un ciel lumineux et dégagé, pendant les mois d'été, les précipitations deviennent rares voire inexistantes avec de faibles précipitations, la température varie généralement de 6°C à 30°C et est rarement inférieure à 2°C ou supérieure à 34°C . [a]



Figure 20: représentation géographique de la wilaya d'Oran [a]

5.2 Procédure d'échantillonnage

L'échantillonnage s'effectue sur les régions agricoles où sont présents les arbres de grenadier, les principaux paramètres à respecter pour une meilleure qualité des résultats au laboratoire sont:

- Le matériel utilisé pour le prélèvement
- Le conditionnement des échantillons récoltés
- La profondeur et le lieu des prélèvements

5.3 Récolte des échantillons

Les 8 régions citées précédemment dans le tableau 6 ont été sélectionnées sur le territoire national (Algérie) afin de procéder à l'échantillonnage des fruits de grenadier en même temps que l'échantillonnage du sol, pendant la période de fructification des arbres de grenadier à savoir entre le 9 septembre 2019 jusqu'au 14 octobre 2019 et durant cette période la récolte a variée d'une région à une autre, car cela dépendait du degré de maturation des

fruits qui ont été influencés par les conditions météorologiques et par conséquent variaient d'une année à une autre.

5.3.1 Les échantillons du sol.

Suite à l'initiation au niveau de la méthodologie de prélèvements des échantillons de sol (terre) au niveau de l'ITAF, certains paramètres doivent être respectés afin de se rapprocher des résultats les plus réalistes et ces conditions sont:

-La période de prélèvement du sol qui ne doit être ni en période de sécheresse lorsque le sol est dur, ni en période de grandes précipitations lorsque la terre est très mouillée, mais soit en automne ou au printemps et dans cette étude, l'intégralité des prélèvements a été effectuée pendant la saison d'automne en même temps que la récolte des fruits.

- Le prélèvement s'est effectué comme suit:

1- En diagonale, comme le montre la figure 21 au niveau des localisations a, b, c, d et e reparti de manière uniforme aux alentours des cultures de grenadier.

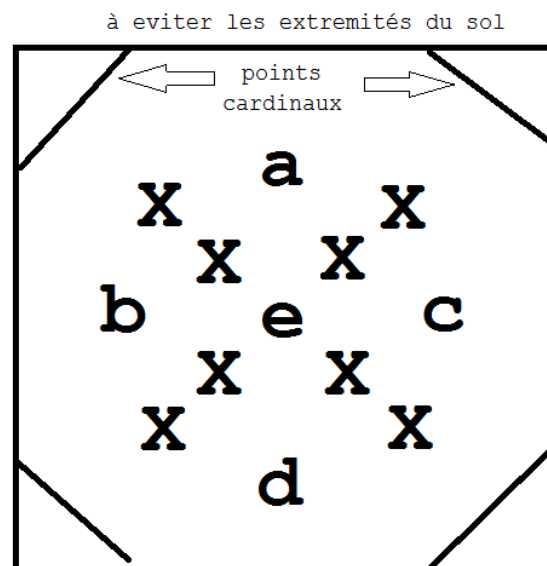


Figure 21: représentation des zones de prélèvement des échantillons de terre

2- Le terrain de prélèvement choisi est homogène (pas de reliefs).

3- La distance de prélèvement est effectuée environ entre 1m et 3m par rapport au tronc d'arbre du grenadier comme dans la figure 22 afin de permettre de récupérer l'échantillon ayant été en contact avec les rayons lumineux du soleil et non pas masqué par l'ombre des feuilles du grenadier.



Figure 22: Surface de prélèvement par rapport à l'exposition solaire

4- Une tarière est utilisée pour prélever le sol (la terre) comme dans la figure 23.

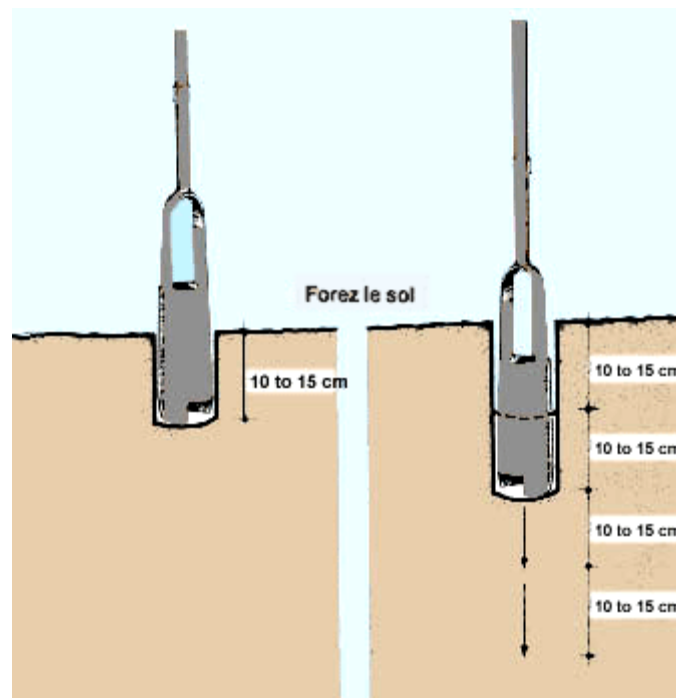


Figure 23: prélèvement d'échantillons de terre avec une tarière [f]

-La profondeur de l'échantillonnage doit varier entre 20 et 30 cm par rapport à la surface du sol.

Une fois l'échantillonnage effectué, nous avons procédé à une observation du sol afin de déterminer son aspect: humide ou sec; riche en cailloux et sa couleur.

Il est à noter que l'état d'humidité du sol est un paramètre subjectif porté sur le terrain en fonction de cinq modalités : sec, frais, humide, très humide et saturé (présence d'eau libre) [7]

5.3.2 Les échantillons de fruits.

La récolte du fruit (figure 24) est une étape qui a été assez complexe de part la maturité qui variait d'une variété à une autre et d'une région à une autre, sachant que le fruit est très sensible aux variations climatiques et lorsque débute les premières précipitations: le fruit éclate et tombe ce qui le rends incoestible et non utilisable pour les analyses au laboratoire.

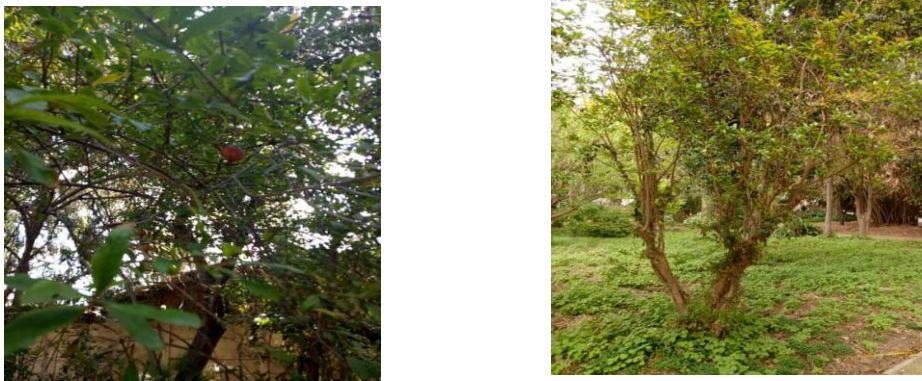


Figure 24: photographies des arbres de grenadier pendant la période de récolte

Certaines difficultés ont été rencontrées pour la récolte des échantillons: la hauteur des arbres qui pouvait atteindre 6 mètres, comme le montre la figure 25 et les fruits ne poussaient que dans les branches les plus hautes.



Figure 25: photographie d'un arbre de grenadier atteignant 6 mètres de hauteur.

Suivant le protocole décrit, 21 échantillons ont été récoltés, sur les différentes régions d'Algérie et les fruits ont été analysés au fur et à mesure de leur récolte.

Quant aux échantillons de terre, l'étude a été réalisée au niveau du laboratoire où différents paramètres ont été mesurés.

Matériel biologique

6. Méthodes

Sur chacun des 21 échantillons, il a été mesuré les paramètres suivants:

6.1 Mesure des paramètres physico-chimiques des fruits de grenadier.

Les grenades utilisées dans cette étude sont récoltées à maturité optimale, selon les résultats de mesure du degré Brix. Le prélèvement des échantillons est réalisé de manière méticuleuse, en évitant d'endommager le fruit. Pour chaque variété, deux échantillons ont été prélevés ; l'un pour l'analyse physico-chimique et l'autre pour le dosage des antioxydants.

6.1.1 Dosage des protéines (méthode kjeldhal)

Il existe plusieurs méthodes permettant de quantifier les protéines au laboratoire notamment, Les protéines solubles quantifiées par la méthode de Bradford [13]. Et les protéines hydrosolubles quantifiées par la méthode décrite par Ammar et *al.* [2], qui font appel au spectrophotomètre



Figure 26: photographie mettant en évidence la quantité de grenade équivalente à 10gr, utilisée pour déterminer le dosage des protéines

La technique de kjeldhal consiste au laboratoire, par un mode opératoire strict et rigoureux qui consiste en une succession d'étapes : On débute par peser 1 g de l'échantillon (figure 26) que l'on met dans les tubes de digestion. auquel on ajoute 7 g de K_2SO_4 , et 0,8

g de CuSO_4 puis 12 ml de H_2SO_4 concentré, On place le portoir dans le système de digestion et on règle l'aspirateur d'eau, ensuite on charge le portoir dans le bloc de digestion préchauffé à 420 C° , jusqu'à ce que tous les échantillons soient clairs avec une solution bleue / verte.

On retire les tubes et on les laisse refroidir pendant 10-20 min afin de passer à l'étape de distillation.

On ajoute soigneusement 80 ml d'eau dés-ionisée dans les tubes et 25-30 ml de solution réceptrice.

Les tubes de digestion sont dans l'unité de distillation et on distribue 50 ml de NAOH à 40 % dans le tube, puis on titre le distillat avec HCL normalisé (habituellement 0,1 N ou 0,2 N) jusqu'à atteindre le point final bleu / gris.

On note le volume d'acide consommé lors du titrage.

$$\% \text{ de protéine} = N * F$$

N= Volume titré

F= Facteur de conversion de l'azote en protéine selon la nature du produit

6.1.2 Dosage des glucides (méthode Dubois)

Les glucides totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode de Dubois et *al.* [22]. Elle consiste à additionner 3 ml d'éthanol à 80 % à 100mg de matière végétale fraîche. Le mélange est mis à température ambiante pendant 48 heures. Au moment du dosage, l'éthanol est évaporé par passage à l'étuve à 80°C . L'extrait obtenu est additionné à 10 ml d'eau distillée. Une prise d'essai de 0,5 ml de la solution analyser est mélangée à 0,5ml de phénol 5%. a laquelle on ajoute rapidement 2.5ml d'acides sulfurique concentré 96%,on remarque que le mélange vire à la couleur jaune orange. Après homogénéisation au vortex, l'échantillon est placé au bain-marie pendant 10 à 20min à une température de 30°C . La couleur de la solution est stable pendant plusieurs heures. L'absorbance est lu à 485nm. Les valeurs obtenues sont reportés sur la gamme étalon, à l'aide de l'équation suivante : $Y=4,3918X-0,1946$, avec: Y: étant l'absorbance. X: étant la quantité des sucres totaux exprimée en mg/g.m.f. Au laboratoire,

6.1.3 Dosage des lipides (extraction soxhlet)

Au laboratoire le protocole suivant a permis d'obtenir le dosage des lipides, d'après la méthode Soxhlet qui est considéré comme la méthode de référence utilisée pour la détermination de la matière grasse végétale fraîche [58 in 26]. C'est une méthode gravimétrique, puisqu'on pèse l'échantillon au début et la matière grasse à la fin de l'extraction. on prend 2g de matière végétale qui sera placé dans une capsule de cellulose. L'échantillon est extrait en continu par de l'éther pétrole à ébullition afin de dissoudre graduellement la matière grasse. Le solvant contenant la matière grasse retourne dans le ballon par déversements successifs causés par un effet de siphon dans le coude latéral. Comme seul le solvant peut s'évaporer de nouveau, la matière grasse s'accumule donc dans le ballon jusqu'à ce que l'extraction soit complète. Une fois l'extraction terminée, l'éther est évaporé, généralement sur un évaporateur rotatif, et la matière grasse est pesée. Le taux de lipide contenu dans la grenade est estimé par la formule suivante :

$$\text{MG (\%)} = (m_3 - m_2) / m_1 \times 100.$$

MG: Matière grasse exprimé en %, *m₁* : Masse de l'échantillon en g, *m₂* : Masse de la cup avec les billes en g, *m₃* : Masse de la cup et les billes après extraction

6.1.4 Estimation du taux d'acidité titrable :

Le protocole de Morris et *al.* [48], a été retenu pour la mesure du taux d'acidité titrable. Le fruit est récolté, puis l'écorce est enlevée permettant de récupérer les graines des grenades. Les graines sont broyer et le jus est filtrer pour éliminer les résidus (voir la figure 27).
- On obtient 1ml de jus de grenade après broyage et filtration

Matériel et méthodes



-a- récupérer les graines



-b- broyer les graines



-c- obtenir le jus des graines



-c- effectuer le dilution



-d- homogénéiser la solution



-e- marqué les échantillons



-f- préparer les réactifs



-g- débiter l'expérience



-h- observer la coloration



-i- La couleur devient rose violette

Figure 27: photographies des étapes de mesure de l'acidité titrable au laboratoire

On ajoute lentement 9 ml d'eau distillée à la solution, ensuite on rajoute quelques gouttes de l'indicateur coloré (phénolphthaléine), pour au final titrer par la solution sodique, jusqu'à obtention d'une coloration rose pâle persistante (figure 27-i).

Une fois cette étape atteinte, on considère que le virage est atteint lorsque la coloration rose persiste pendant une dizaine de secondes.

L'acidité titrable est exprimée en gramme d'acide citrique par ml de produit (A g/ml) et on applique la relation : **Acide citrique = V NaOH X 0,64**

0.64 : coefficient correspondant à l'acide citrique

6.1.5 Dosage de la vitamine C

L'estimation de la vitamine C se fait par quantification de l'acide ascorbique selon la méthode de Koltnoff.& Sandell [40], 10 g de pulpe de fruit sont réduits en purée et mélangés avec 50 ml de HCl à 2%, après 10 mn d'attaque par l'acide chlorhydrique, le mélange est filtré. Une prise d'essai de 10 ml du filtrat est placée dans un erlenmeyer avec 30ml d'eau distillée à laquelle on ajoute 1 ml de solution iodure de potassium à 1% et 2 ml de solution d'amidon à 0,5% , cette étape est suivie par un titrage à l'iodate de potassium de 0,001N jusqu'à l'apparition de la couleur bleu. Donc Le taux de l'acide ascorbique est estimé

$$x = \frac{N \times V_1 \times 0,0088 \times 100}{G \times V_2},$$

par la formule suivante :

x :Quantité d'acide ascorbique en mg/100g ; N : Volume de l'iodate de potassium (la différence de volume entre le titrage de l'échantillon et l'essai à blanc) ; V_1 : Volume total d'extrait obtenu pour l'analyse ; G : Quantité de produit analysé ; V_2 : Quantité d'extrait filtré soumis à l'analyse

6.1.6 Valeur énergétique.

Le calcul de la valeur énergétique se fait, d'après l'article 9, du journal officiel numéro 25 du 02 mai 2018 qui stipule que:

Art. 9. — La valeur énergétique est calculée à l'aide des coefficients de conversion cités ci-après :

— Glucides 4 Kcal/g - 17 KJ/g

— Protéines 4 Kcal/g - 17 KJ/g

— Lipides 9 Kcal/g - 37 KJ/g

La quantité de protéines doit être calculée à l'aide de la formule suivante :

Protéine = azote total (Kjeldhal) x 6,25, à moins qu'un autre facteur ne soit donné pour les protéines de la denrée alimentaire en cause et prévu par la réglementation en vigueur ou le cas échéant, une norme algérienne et à défaut, une norme internationale.

Ensuite l'article 12 (du journal officiel numéro 25 du 02 mai 2018) nous informe que les informations relatives à la valeur énergétique doivent être exprimées en KJ et en Kcal par 100 g ou par 100 ml.

6.1.7 Mesure du taux d'antioxydants (flavonoïdes et Polyphénols).

6.1.7.1 Quantification des polyphenols totaux

La méthode de Folin-Ciocalteu [1] a été retenue pour le dosage des polyphénols.

On récolte 1 g de graine que l'on introduit dans un tube à essai, auquel on ajoute 20 ml d'éthanol à 60%. Après agitation mécanique des tubes pendant 3 à 4 heures à température ambiante, on récupère le surnageant après centrifugation (1400 tr/min, pendant 15 minutes).

La courbe d'étalonnage est réalisée dans les mêmes conditions par l'utilisation de l'acide gallique avec différentes concentrations (0 à 1000 µg/ml).

Les standards ainsi que les échantillons sont mis à l'abri de la lumière pendant 60 min, et la lecture des absorbances est réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible, à une longueur d'onde de 760 nm.

La teneur des Polyphénols totaux "x" est exprimée en mg équivalent d'acide gallique (EAG) par 100 g d'échantillon calculé par la formule suivante

$$X = \frac{FD \cdot X}{PE}$$

FD : facteur de dilution (50000 dans ce cas) ; X : mg/ml équivalent de l'acide gallique calculé par le spectrophotomètre ; PE : prise d'essai (en g).

6.1.7.2 Quantification des flavonoïdes

La méthode d'Ayoola et al. [6] a été retenue.

On débute par l'étapes d'extraction qui consiste à suivre les mêmes étapes citées précédemment pour le protocole de dosage des composés phénoliques, puis l'étape suivante consiste à la préparation des échantillons et la courbe d'étalonnage, sachant que la courbe d'étalonnage est réalisée par des concentrations de la quercitrine allant de 0 à 10 mg/l

La gamme étalon

Dans des tubes à essai nous avons introduit :

- 1 ml de la solution de la quercitrine ;

- 4 ml de l'eau distillée ;
- 0,3 ml de NaNO₂ à 5% (T=0 min) ;
- 0,3 ml de Al Cl₃ à 10% (T=5 min) ;
- 2 ml de la solution de la soude à 1 M ;
- 2,4 ml de l'eau distillée.

Préparation d'échantillons

Dans des tubes à essai nous avons introduit :

- 1 ml de l'extrait;
- 4 ml de l'eau distillée ;
- 0,3 ml de NaNO₂ à 5% (T=0 min) ;
- 0,3 ml de Al Cl₃ à 10% (T=5 min) ;
- 2 ml de la solution de la soude à 1 M ;
- 2,4 ml de l'eau distillée.

On prend 1 g de graine que l'on introduit dans un tube à essai, auquel on rajoute 20 ml d'éthanol à 60% après agitation mécanique des tubes pendant 3 à 4 heures à température ambiante, on récupère le surnageant que l'on remet dans une centrifugeuse (1400 tr/min, pendant 15 minutes). La courbe d'étalonnage est réalisée dans les mêmes conditions par l'utilisation de la quercitrine avec différentes concentrations (0 à 10 mg/l). Un mélange rigoureusement des solutions a été réalisé au vortex.

On mélange rigoureusement les solutions à l'aide de vortex et on lit l'absorbance à 510 nm.

Lecture et calcul des résultats

La teneur des flavonoïdes y est exprimée en mg par équivalent de la quercitrine (EQ) par 100 g d'échantillon calculée par la formule suivante :

$$y = \frac{FD * Y}{PE}$$

FD : facteur de dilution; Y : mg/ml équivalent de la quercitrine calculée par le spectrophotomètre ; PE : prise d'essai (en g).

6.2 Prélèvement et analyse du sol

Dans l'esprit d'avoir un échantillon de sol représentatif, 20 carottes de terre prélevées au hasard un peu partout dans chaque site d'étude. L'échantillon aléatoire (au hasard) a été réalisé selon un parcours en zigzag couvrant la parcelle d'étude.

Au final, 400 grammes de terre de chaque site ont été récupérés. Il doit cependant être représentatif de 20 000 tonnes de sol, soit la quantité contenue dans 10 ha [4].

-Évaluation du potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est un coefficient qui caractérise l'acidité ou la basicité d'un sol. Il définit la concentration d'ions H⁺ dans la phase liquide du sol. Le pH varie de 0 à 14 et la neutralité est atteinte lorsque le pH est égal à 7. Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un pH-mètre, avec extrait de sol dilué d'après un rapport sol/eau équivalent à (1/ 2,5) [3].

6.2.1 Évaluation de la matière organique (MO)

La méthode de détermination de la matière organique est réalisée par le dosage du carbone organique. Elle consiste à oxyder, à chaud (105°C), par le mélange de 10 ml de bichromate de potassium (8%) et 15 ml d'acide sulfurique concentré avec 0.5 g de sol finement broyé, pendant 5 minutes, après ébullition laissant notre mélange refroidir, on prélève 20 ml de cette solution à laquelle on ajoute 3 à 4 gouttes de diphénylamine (indicateur faisant passer la solution du brun violacé au bleu verdâtre) et 5 ml de fluorure de sodium (NaF à 3%) puis on titre avec la solution de sel de MOHR (0.2N) en notant son volume (n') au moment du virage au bleu verdâtre [15]. Le pourcentage de carbone est calculé par la formule suivante :

$$C\%=(n'-n)\times 0,615/P.$$

Le taux de la matière peut être déterminé ainsi : $MO\%=C\%\times 1,$.

Avec : $MO\%$: Matière organique, $C\%$: Taux de Carbone, P : Poids de sol, n' : Volume de sel de MOHR titré sur sable calciné, n : Volume de sel de MOHR titré sur sol échantillonné.

6.2.2 Détermination du calcaire total (%)

La méthode de calcimètre de Bernard selon la norme française NF P 94-048 a été adoptée [16]. Son principe se base sur la mesure du volume V_b de dioxyde de carbone (CO₂) dégagé par une masse m d'échantillon sous l'action d'acide chlorhydrique en excès. Cette mesure se fait par un appareillage dit calcimètre de Bernard. La masse m de la prise d'essai du matériau sec se base sur les résultats de l'évaluation préalable du taux de CaCO₃ par la

méthode de la calcimétrie par titrage. Le calcul du pourcentage de CaCO₃ se fait en se référant à un essai témoin avec une masse m_t (= 0,25g) de CaCO₃ pur qui dégage un volume V_t de CO₂ après réaction avec de l'HCl en excès. La teneur en CaCO₃ est calculée par la formule :

$$P = \frac{m_t \times V_b \times (\theta_t + 273)}{m \times V_t \times (\theta_b + 273)}$$

Avec : θ_t et θ_b , les températures de la salle d'essai, respectivement, lors de l'essai sur le matériau et lors de l'essai sur le carbonate de calcium pur, exprimées en degré Celsius.

6.2.3 Détermination du calcaire actif (%) :

Il est réservé aux échantillons contenant plus de 5% de calcaire total. Il s'agit de doser, par titration au permanganate de potassium N/10, à 20 ml d'oxalate N/5, et à 20 ml de filtrat de sol obtenu après agitation pendant 2 heures (agitateur rotatif) ensuite l'application de la formule suivante

$$\text{CaCO}_3 \text{ actif (\%)} = 62,5 \times C \times (V_o \times V_a)$$

Avec : C : concentration de la solution de permanganate de potassium (mol/l), V_o : volume de permanganate de potassium versé pour l'essai à blanc (ml), V_a : volume de permanganate de potassium versé pour l'essai (ml) [50]-[51].

(Voir Annexe II.)

6.3 La récolte des résultats météorologique

Concernant les données météorologiques, pour cette étude, nous nous sommes limités aux données les plus standards, en l'occurrence: la Température moyenne, l'insolation, le taux de vent, l'humidité, le rayonnement global, ainsi que le bilan hydrique

7 L'étude statistique

Les résultats obtenus suite à l'étude au laboratoire sont présentés sous forme d'une moyenne \pm l'erreur standard pour chaque paramètre analysé au laboratoire.

Les différentes matrices des résultats ont fait l'objet d'une analyse de la variance des moyennes avec le test ANOVA one-way, pour évaluer la signification de l'effet au seuil $P < 0.05$ et un autre teste statistique, qui est l'analyse en composante principale (ACP) pour la discrimination de différents échantillons prélevés en fonction des paramètres physico-chimiques du sol ainsi que l'impact des facteurs météorologiques sur la valeur nutritionnelle du fruit du grenadier.

Le logiciel "PAST" a été utilisé afin d'évaluer les corrélations entre les paramètres étudiés et leurs évolutions ainsi que pour la réalisation de l'ACP.

Tests statistiques utilisés

La distribution des échantillons selon la loi Normale ainsi que leur homogénéité sont vérifiés selon le test Levene's. Les résultats ont fait l'objet d'une analyse de la variance à un facteur (ANOVA) afin de déterminer l'effet des différentes caractéristiques du sol sur les paramètres biochimiques des grenades. Lorsque l'analyse ANOVA est significative à un seuil de $p \leq 0,05$, les différences entre les moyennes des groupes sont scorées selon le test Student Newman Keuls (SNK). Les données sont présentées sous forme de moyennes arithmétiques accompagnées par les valeurs du coefficient de variation C.V. et sont analysées avec les logiciels SYSTAT vers 12 et XLSTAT vers 2016. La tendance de l'influence de la fluctuation de la composition chimique des grenades sous l'effet des caractéristiques du sol des parcelles étudiées ont été établies par une analyse en composante principale (A.C.P.). La projection des variables sur les deux axes de l'analyse multivariée a été conduite par le logiciel (PAST vers. 1.37) [31].

Chapitre 3:

Résultats et discussion

8. Les résultats

8.1 Résultats de l'échantillonnage

La récolte nous a permis d'obtenir 21 échantillons de grenades et de terre, (figure 28)

Echantillon 1



La photo montre une grenade issue du prélèvement dans la zone d'Alger, qui possède une coloration rosâtre de l'écorce



La photo, montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon E01 d'Alger, et on constate que la couleur est marron foncé, de granules fines, avec présence de léger résidus, quant à l'humidité elle est normale, ce pendant le contenant de la terre à été dégradé ce qui nous oriente vers un sol très acide

Echantillon 2



La photo montre une grenade issue du prélèvement dans la zone de Dar el Beida, qui possède une coloration rosâtre de l'écorce



La photo, montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon E02 de Dar el Beida et on constate que la couleur est jaune, elle contient des petites roches, les granules sont fines on note la présence de résidus, elle est également très sèches

Echantillon 3



La photo montre des grenades issues du prélèvement dans la zone d'Alger, qui possède une coloration jaunâtre de l'écorce



La photo, montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon A03 d'Alger et on constate que la couleur est marron très foncée, les granules sont fines mais beaucoup trop de résidus dont des feuilles et des branches, quant à l'humidité elle est moyenne.

Résultats et Discussion

Echantillon 4



La photo, montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon E04 d'Alger et on constate que la couleur de l'écorce est rose jaunâtre.

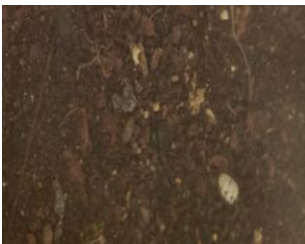


La photo, montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon E04 d'Alger et on constate que la couleur est marron, avec des granules fines et un taux d'humidité normale.

Echantillon 5



La photo montre des grenades issues du prélèvement dans la zone d'Alger, qui possède une coloration de l'écorce rosâtre



La photo, montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon E05 d'Alger et on constate que la couleur est marron très foncée, quant aux granules elles sont fines, on note la présence de résidus et un taux d'humidité assez moyen (normale)

Echantillon 6



La photo montre des grenades issues du prélèvement dans la zone d'Alger, qui possède une coloration de l'écorce est rose et jaune.



La photo, montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon E06 d'Alger et on constate que la couleur est marron foncée, le granules sont fines avec présence de résidus humidité moyenne.

Résultats et Discussion

Echantillon 7



La photo montre une grenade issue du prélèvement dans la zone d'Alger, qui possède une coloration de l'écorce est très rose



La photo, montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon E07 d'Alger et on constate que la couleur est très foncée et les granules sont fines mais on note surtout un taux d'humidité très élevée, donc forme une terre presque argileuse.

Echantillon 8



La photo montre une grenade issue du prélèvement dans la zone de Skikda, qui possède une coloration de l'écorce très rose pâle.



La photo, montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon E08 de Skikda et on constate que la couleur est marron claire , elle est constituée de graines très fines, dépourvue de résidus et elle est très humide.

Echantillon 9



La photo montre des grenades issues du prélèvement dans la zone de Skikda, qui possèdent une coloration de l'écorce qui est très jaune , bien que le fruit est arrivé à maturité.



La photo, montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon E09 de Skikda et on constate que la couleur est marron, voir rouge, avec un aspect argileux, elle ne contient pas de résidus et est très humide

Echantillon 10



La photo montre des grenades issues du prélèvement dans la zone de Tizi Ouzou, qui possèdent une coloration de l'écorce marron.



La photo, montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon E10 de Tizi Ouzou et on constate que la couleur est grise et les granules sont fines mais avec la présence de beaucoup de résidus (des pierres et des branches) et c'est une terre très sèche.

Echantillon 11



La photo montre une grenade issue du prélèvement dans la zone de Dar el Beida, qui possède une coloration de l'écorce qui est très jaune marron , bien que le fruit est arrivé à maturité.



La photo, montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon E11 de Dar el Beida et on constate que la couleur de la terre est jaune et elle est composé de petites roches, c'est un sol trop sec

Echantillon 13



La photo montre des grenades issues du prélèvement dans la zone d'Oran, qui possèdent une coloration de l'écorce qui est jaune et rouge.



La photo, montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon E13 de la région d'Oran et on constate que la couleur est marron, quand aux granules elles sont fines, la présence de quelques petites roches et des résidus de bois, c'est une terre relativement sèche.

Echantillon 14



La photo montre une grenade issue du prélèvement dans la zone de Batna, qui possède une coloration de l'écorce qui est jaune.



La photo montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon E14 de la région de Batna et on constate que la couleur est noire, quant aux granules elle sont très fines, c'est une terre très humide.

Echantillon 15



La photo montre une grenade issue du prélèvement dans la zone de Batna, qui possède une coloration de l'écorce qui est verdâtre à jaune.



La photo, montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon E15 de la région de Batna et on constate que la couleur est rouge ,avec un aspect très fin, présence des très fines granules, et la terre est très sèche.



Echantillon 16

La photo montre une grenade issue du prélèvement dans la zone de Tizi Ouzou, qui possède une coloration de l'écorce qui est rose



La photo, montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon E16 de Tizi Ouzou et on constate que la couleur est marron , présence de granules sèches avec beaucoup de résidus de racines, la terre semble fertile, et elle est moyennement humide.

Echantillon 17



La photo montre une grenade issue du prélèvement dans la zone de Tizi Ouzou, qui possède une coloration de l'écorce qui est rose clair.



La photo, montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon E17 de Tizi Ouzou et on constate que la couleur est marron , présence de granules sèches avec beaucoup de résidus de racines, la terre semble fertile, et elle est moyennement humide.

Echantillon 18



La photo montre une grenade issue du prélèvement dans la zone de Tizi Ouzou, qui possède une coloration de l'écorce qui est jaune orange



La photo, montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon E18 de Tizi Ouzou et on constate que la couleur est marron , présence de granules sèches avec beaucoup de résidus de racines et elle est moyennement humide.

Echantillon 19



La photo montre une grenade issue du prélèvement dans la zone de la région de Annaba, qui possède une coloration de l'écorce qui est jaune tachetée



La photo, montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon E19 de Annaba et on constate que la couleur est grise / noire , avec un aspect granulé très varié et de structure super fine avec des roches, la terre est moyennement sèche (normale)



Echantillon 20

La photo montre une grenade issue du prélèvement dans la zone de la région de Ouargla, qui possède une coloration de l'écorce qui est très jaune à maturité.



La photo, montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon E20 de Ouargla et on constate que la couleur est orange, c'est du sable du désert orange, la structure des granules est extrêmement fine, avec un taux d'humidité très élevé



Echantillon 21

La photo montre une grenade issue du prélèvement dans la zone de la région de Dar el Beida qui possède une coloration de l'écorce qui est verte à maturité.



La photo, montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon E21 de Dar el Beida et on constate que la couleur est grise, la structure est formée de petites roches et des petites granules très fine, quant au taux d'humidité, il est normale.



Echantillon 22

La photo montre des grenades issues du prélèvement dans la zone de la région de Tizi Ouzou qui possède une coloration de l'écorce qui est rose et jaune



La photo, montre l'échantillon de terre ou a été prélevé l'échantillon E22 de la région de Tizi Ouzou et on constate que la couleur est marron, présence de granules avec beaucoup de résidus tel que des racines, elle est très sèche.

Figure 28: Les fruits de grenades récoltés ainsi que les échantillons de terre correspondants avec leurs caractéristiques.

8.2 Les matrices obtenues

8.2.1 La composition chimique des grenades

Nous avons comparé les quantités totales des protéines, des glucides, des lipides, de l'acidité titrable et de la Vitamine C dans les grenades selon les lieux d'échantillonnage. Nous avons testé l'influence de la nature du sol sur la composition chimique des grenades. Pour cela, nous avons effectué une analyse de variance. Les résultats sont résumés dans le tableau 8.

Tableau 8: La composition chimique du fruit de grenade

	Protéines (g/100 g)	Glucides (g/100 g)	Lipides (g/100 g)	Acidité titr (mg/ml)	Vitamine C (mg/100g)
E01	0,0062	12,720	0,054	0,230	0,490
E02	0,0063	14,040	0,560	0,180	0,140
E03	0,0064	8,090	0,200	2,016	0,480
E04	0,044	7,86	0,210	0,240	0,109
E05	0,0400	5,380	0,110	3,840	0,240
E06	0,019	6,510	0,150	2,260	0,710
E07	0,480	11,320	0,050	0,540	0,410
E08	0,110	3,420	0,190	0,330	0,120
E09	0,050	16,770	0,280	0,210	0,260
E10	0,063	8,340	0,340	0,260	0,210
E11	0,460	10,320	0,400	0,240	0,210
E13	0,230	13,860	0,160	0,260	0,170
E14	0,590	14,080	0,340	0,300	0,170
E15	0,050	11,460	0,560	1,280	0,360
E16	0,056	19,810	0,760	3,450	0,210
E17	0,290	12,000	0,250	1,310	0,450
E18	0,010	17,00	0,310	0,230	0,210
E19	0,310	13,610	0,660	0,510	0,200
E20	0,0750	15,130	0,680	0,250	0,220
E21	0,062	13,640	0,950	0,180	0,260
E22	0,052	13,770	0,270	1,400	0,190
F.ratio	1483	417	672,9	29,64	1299
p	$2,02 \times 10^{-53}$	$6,82 \times 10^{-42}$	$3,13 \times 10^{-46}$	$1,36 \times 10^{-18}$	$3,26 \times 10^{-52}$

Les résultats sont présentés sous forme de moyennes (Coefficient de variation)

Les lettres indiquent les différences significatives à $p < 0,05$ selon le test Student-Newman-Keuls.

Selon les résultats de l'analyse de la variance et du test post-hoc, la nature du sol agit significativement sur l'accumulation des différents composés chimiques estimés.

Les grenades récoltées dans les parcelles E07, E08, E11, E13, E14, E17 et E19 montrent une augmentation significative des protéines ($p < 0,01\%$) par comparaison à celles récoltées dans les parcelles E01, E02 et E03, dont les quantités sont les plus faibles. avec un accroissement de la teneur en eau du sol. Toutefois, la quantité des glucides dans les grenades des parcelles E01, E02, E09, E13, E14, E16, E17, E18, E19, E20, E21 et E22 varie significativement entre les différentes parcelles ($p < 0,01\%$). Il est plus juste de tenir compte du résultat obtenu dans les parcelles E02, E10, E11, E14, E15, E16, E18, E19, E20 et E21 significativement riches en lipides, E03, E05, E06, E15, E16, E17 et E22 avec des quantités significatives d'acidité titrable et enfin les parcelles E01, E03, E06, E07 et E17 dont les quantités en vitamine C affichent des valeurs très significatives par rapport aux autres parcelles ($p < 0,01\%$). Considérant l'ampleur de la variabilité de l'expression des composés chimiques entre les différentes parcelles, il est justifié de dire que les différentes conditions pédologiques affectent la composition chimique des grenades de façon significative.

8.2.2 La composition en antioxydants des grenades

Le tableau 9 présente les valeurs moyennes des polyphénols et des flavonoïdes mesurées au niveau des grenades échantillonnées des parcelles étudiées. Les valeurs enregistrées une fois traitées par le test post -hoc, ont permis de montrer la présence d'une différence significative en matière des quantités accumulées au niveau des grenades récoltées des parcelles E03, E05 et E06.

Celles récoltées dans les parcelles E09, E11, E13, E16, E17, E18, E20, E21 et E22 enregistrent des quantités intermédiaires, alors que les grenades récoltées de la parcelle E14 désignent les quantités les plus faibles

Tableau 9: Taux de polyphénols et des flavonoïdes

	Polyphénols (mEqAG/100g)	Flavonoïdes (mEqAG/100g)
E03	319,340	136,770
E05	312,470	240,730
E06	252,380	181,270
E09	108,288	76,3060
E10	142,240	113,510
E11	118,026	78,940
E13	104,270	74,030
E14	85,170	45,240
E15	135,590	105,250
E16	123,010	83,250
E17	113,060	80,870
E18	100,720	87,720
E19	106,180	42,360
E20	113,840	94,760
E21	111,380	70,890
E22	118,980	82,130
<i>F.ratio</i>	4176	4963
<i>p</i>	$5,63 \times 10^{-64}$	$1,91 \times 10^{-65}$

Les résultats sont présentés sous forme de moyennes (Coefficient de variation) les lettres indiquent les différences significatives à $p < 0,05$ selon le test Student-Newman-Keuls

Notre étude a sollicité beaucoup de facteurs, c'est pour cela qu'il a été difficile de déterminer l'effet précis et l'impacte de chacun des paramètres étudiés.

8.2.3 La composition chimique des sols étudiés

Les sols des parcelles étudiées présentent majoritairement des valeurs de conductivité électrique inférieures à 1ds/m, exception pour la parcelle E14 (Batna) où la valeur enregistrée est 1,21 ds/m. Pour la totalité des parcelles, le pH est basique. La teneur en P205 assimilable est comprise entre 1523,44 et 4520,83 ppm, pour 41,17% des parcelles. 52,94% des parcelles affichent des valeurs en P205 assimilable comprises entre 252,6 et 875 ppm. La parcelle E20 (Ouargla), reste la plus pauvre en P205 assimilable avec une moyenne de 39,06 ppm. Le taux du Calcaire total présente des valeurs comprises entre 10,37 et 26,89 pour 76,47 % des parcelles, les 23% restantes, affichent des valeurs inférieures à 10 notamment E09B (Skikda), E17, E18 et E22 (Tizi Ouzou) (Tableau 10).

Tableau 10: Composition chimique des différents sols

N ^o Echantillon	CE (ds/m)	pH Rapport 1/2.5	P ₂ O ₅ Assimilable (ppm)	Calcaire total (%)	Calcaire Actif (%)	Matière Organique (%)	K ₂ O Assimilable (ppm)
E01	0,9	7,59	606,77	13,79	6,5	3,03	374,66
A03	0,73	7,92	1523,44	14,07	0,25	5,33	459,72
E05	0,98	7,9	1593,75	13,1	4,5	5,23	436,01
A06	0,51	8,26	2457,03	16,29	2,5	5,12	224,34
E09	0,59	8,52	252,6	6,89	1	3,6	190,61
E10	0,21	8,76	4520,83	14,48	4	4,54	926,21
E11	0,2	9,06	643,33	11,03	2	1,88	173,09
E13	0,72	8,43	1713,54	26,89	1,5	6,06	681,41
E14	1,21	8,17	1977,86	16,29	5,5	3,95	227
E15	0,17	8,38	820,31	10,37	7,25	0,62	236,38
E16	0,22	8,16	852,86	10,37	6,75	3,1	135,74
E17	0,17	8,25	108,07	8,88	8	3,27	164,66
E18	0,17	8,25	108,07	8,88	8	3,27	164,66
E19	0,18	8,4	1153,65	10,37	3,5	4,57	64,02
E20	0,85	8,38	39,06	10,37	9	0,11	31,76
E21	0,78	7,98	875	11,11	0,5	4,91	519,9
E22	0,17	8,25	108,07	8,88	8	3,27	164,66

Le taux du calcaire actif est faible sur l'ensemble des sols étudiés. La valeur la plus basse pour nos parcelles est de 0,25% enregistrée au niveau de la parcelle A03 (Alger), alors que le taux le plus élevé atteint 9%, signalé au niveau de la parcelle E20 (Ouargla). 17,64 % des sols étudiés sont considérés comme sols pauvre en humus (MO jusqu'à 2%), il s'agit des parcelles E11 (Dar le Beida) E15 (Batna) et E20 (Ouargla). Cependant, 58,82 % des sols sont considérés comme sols faiblement humifère (MO de 2% à 5%), nous retenons les parcelles E01 (Alger), E09 (Skikda), E14 (Batna), E10, E16, E17, E18 (Tizi Ouzou), E19 (Annaba), E21 (Dar El Beida) et E02 (Alger). En revanche, 23,52% des sols sont considérés comme sol humifère (MO de 5% à 10%), nous signalons les parcelles E03, E05, E06 (Alger) et E13 (Oran) (Tableau 10). Dans l'ensemble, les teneurs en potassium assimilable obtenus montrent que nos échantillons présentent une diversité dans leur réserve en potassium total. Suivant le ratio (100 ppm =0,01%), l'ensemble des échantillons étudiés présentent des teneurs inférieures à 1 %, ils sont donc pauvres en potassium assimilable.

8.3 Les représentations graphiques

Les résultats obtenus au laboratoire ont permis de réaliser plusieurs matrices sous forme de différents tableaux 7, 8 et 9, sachant qu'afin d'optimiser et de se rapprocher au maximum du résultat attendu, une moyenne de 3 essais ont été effectués pour chaque échantillon et paramètre et la moyenne ainsi que le CV ont été calculés, grâce au logiciel "Past".

8.3.1 Représentations graphiques des propriétés du fruit du Grenadier

Le taux de protéine

L'étude effectuée au laboratoire a été soumise à des analyses statistiques à partir des résultats obtenus dans les tableaux précédents.

Les moyennes sont représentées d'après les différentes régions dans le graphique (figure 29) avec un taux de protéine mesuré en unité de (g/100g) et on note que ce taux varie pour les échantillons dans un intervalle compris entre $[0,32 \pm 0,0025$ et $0,075 \pm 0,0009]$ ce qui nous indique donc que le taux de protéine présent dans les échantillons de grenade issus des différentes zones d'étude varie de manière significative, vu qu'il atteint un taux très élevé au niveau de la région de Batna et Annaba alors qu'il présente un taux plus ou moins faible au niveau de la région de Ouargla et de Skikda.

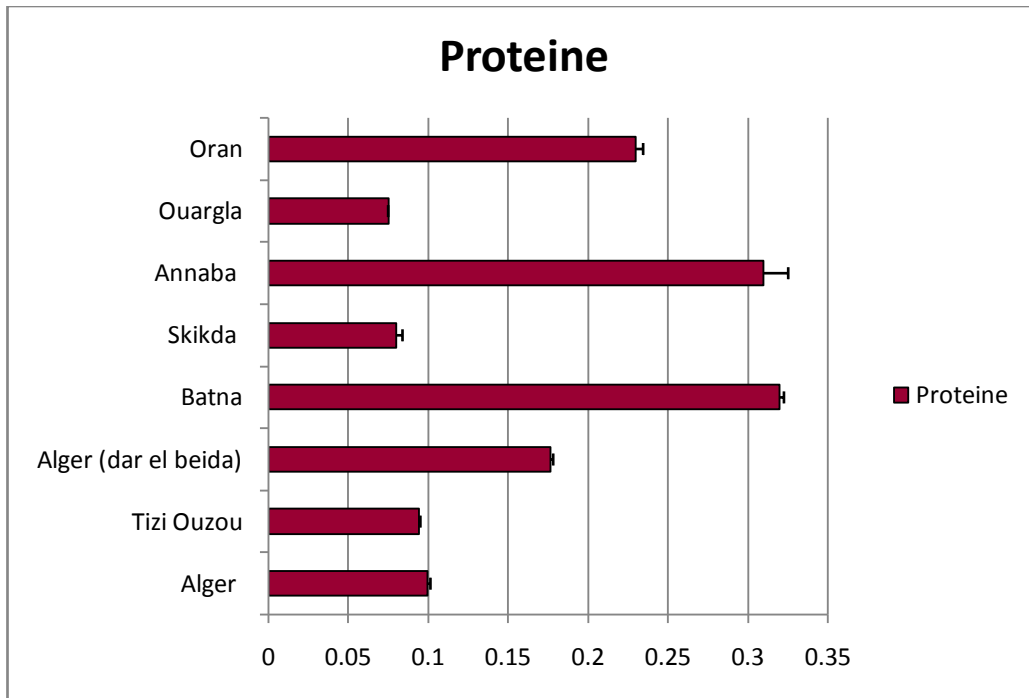


Figure 29: représentation graphique de la distribution du taux de protéine sur les différentes zones d'échantillonnage.

Le taux de glucide

L'étude effectuée au laboratoire a été soumise à des analyses statistiques en se basant sur les résultats obtenus dans les tableaux précédents.

D'après le graphisme de la figure 30 qui représente la variation du taux de glucide retrouvé dans les différentes zones d'échantillonnage, ou ce taux est mesuré en unité de (g/100g) et varie dans un intervalle compris entre $[15,13 \pm 0,0665$ et $8,65 \pm 0,0873]$. On remarque que le taux de glucide est relativement élevé au niveau des différentes régions avec une légère diminution concernant les grenades de la zone d'Alger.

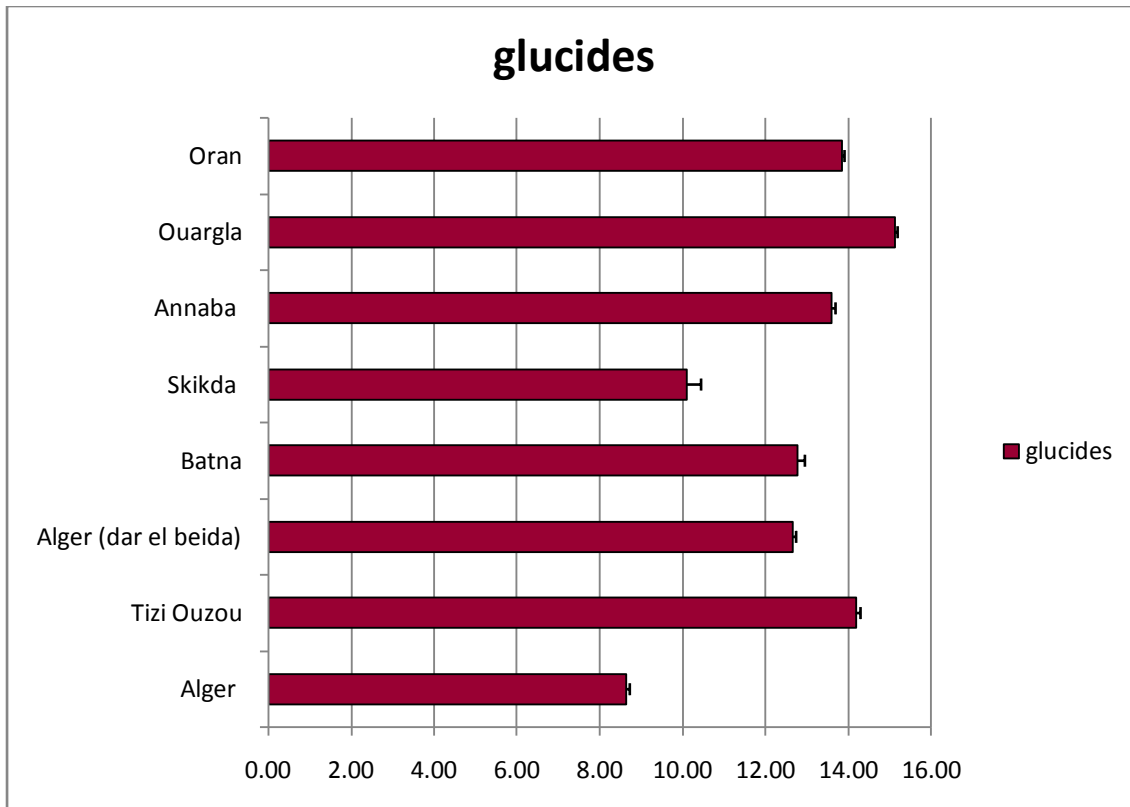


Figure 30: représentation graphique de la distribution du taux de glucide sur les différentes zones d'échantillonnage

Le taux de lipide

L'étude effectuée au laboratoire a été soumise à des analyses statistiques à partir des matrices précédentes

Le graphisme de la figure 31 représente la variation du taux de lipide présent dans les différentes grenades issus des zones d'échantillonnage, avec un taux mesuré en unité de (g/100g) et il varie pour les échantillons dans un intervalle compris entre $[0,68 \pm 0,0020$ et $0,129 \pm 0,0098]$. On remarque un taux très élevé au niveau de les régions de Ouargla, Annaba ainsi que Dar el Beida, alors qu'au contraire un taux plus ou moins faible dans les grenades issus des régions d'Alger et de Oran.

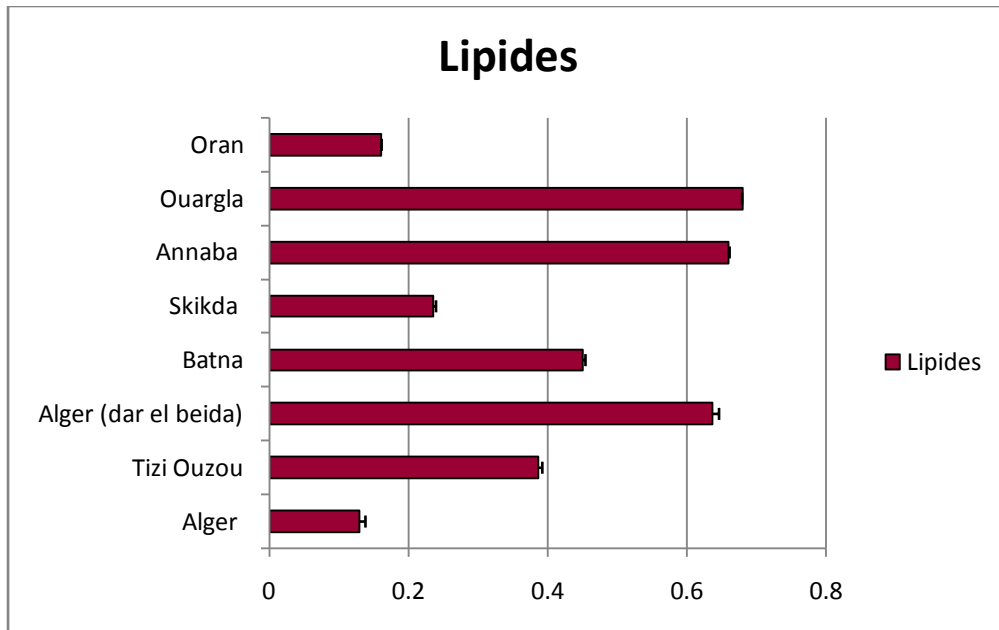


Figure 31: représentation graphique de la distribution du taux de lipide sur les différentes zones d'échantillonnage

Le taux de d'acidité titrable

L'étude effectuée au laboratoire a été soumise à des analyses statistiques.

Le graphisme de la figure 32, montre que l'acidité titrable issus des grenades de la région d'Alger est nettement plus élevé si on le compare au taux d'acidité titrable des régions d'Oran et de Ouargla, dont le taux est très faible et est mesuré en unité de (mg/ml) et varie dans un intervalle compris entre : $[1,521 \pm 0,0131$ et $0,2 \pm 0,0062]$

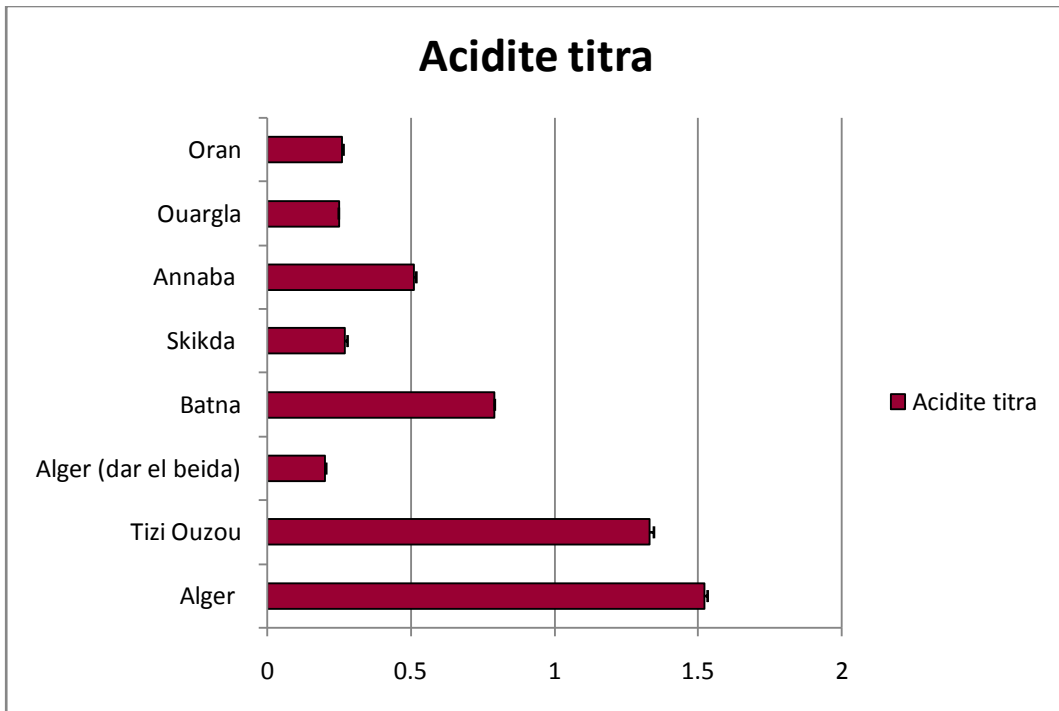


Figure 32: représentation graphique de la distribution du taux d'acidité titrable sur les différentes zones d'échantillonnage

Le taux de vitamine C

L'étude effectuée au laboratoire a été soumise à des analyses statistiques à partir des tableaux précédents.

Le graphisme de la figure 33 montre que la teneur en vitamine C qui est mesuré en unité de (mg/100g) et varie pour les échantillons dans un intervalle compris entre $[0,4066 \pm 0,0023$ et $0,17 \pm 0,0011]$ et est principalement élevée au niveau de la région d'Alger, alors qu'elle est moyennement faible au niveau de toutes les autres régions.

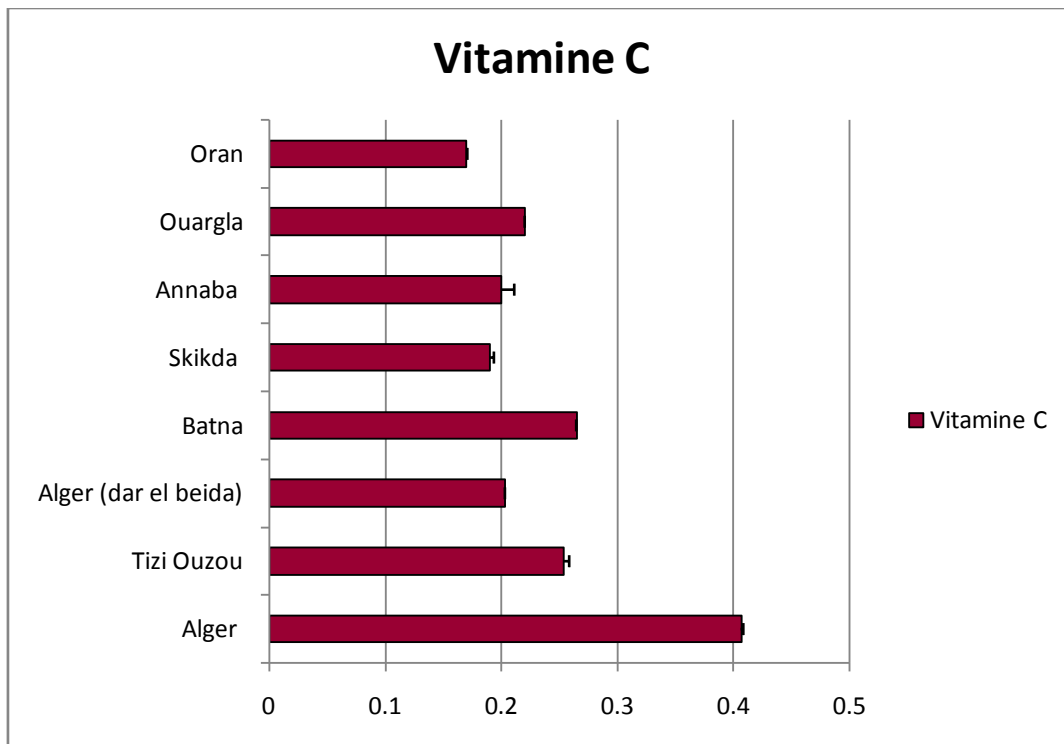


Figure 33: représentation graphique de la distribution du taux de vitamine C sur les différentes zones d'échantillonnage.

Le taux de la valeur énergétique

L'étude effectuée au laboratoire a permis de calculer la valeur énergétique pour les différents échantillons issus des différentes zones d'études, et les résultats sont représentés dans le tableau 11.

Tableau 11: l'analyse des matrices des résultats du taux de la valeur énergétique

	Alger port	Tizi ouzou	dar El- Beida	Batna	Skikda	Annaba	Ouargla	Oran
val éner (Kcal)	36.14	60.38	56.61	56.41	42.81	61.62	66,94	56,97

La valeur énergétique est calculée à partir des taux de protéine, de glucide et de lipide contenus dans les fruits pour chaque échantillon. D'après le graphique de la figure 34, on constate que le taux est très élevé quelque soit la zone d'étude, mais particulièrement sur les fruits issus de la région de Ouargla, mais la différence avec les autres fruits issus des autres zones n'est pas vraiment significative.

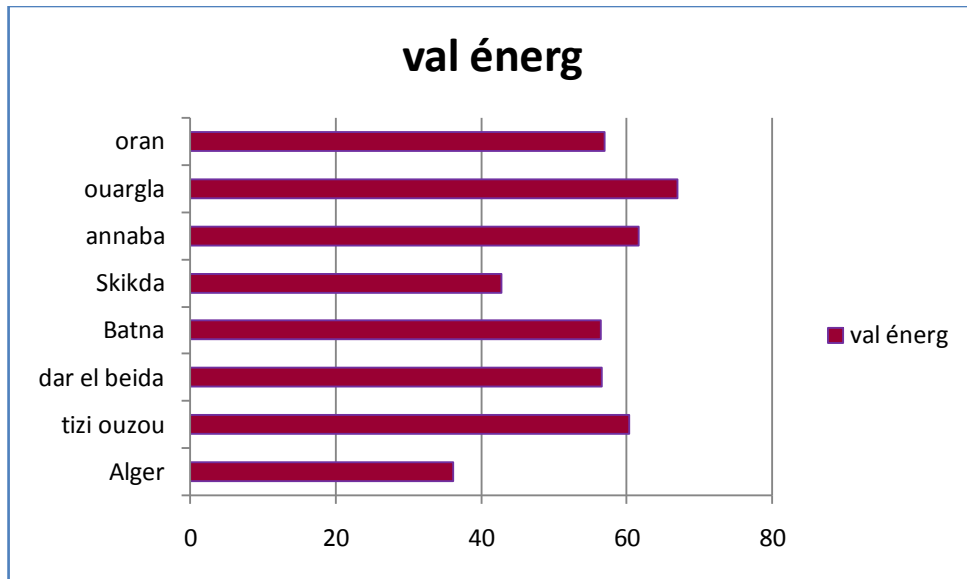


Figure 34: représentation graphique de la distribution du taux de la valeur nutritionnelle sur les différentes zones d'échantillonnage.

8.3.3 Représentations graphiques des antioxydants et des propriétés du fruit du Grenadier

Le taux de Polyphénols

L'étude effectuée au laboratoire a été soumise à des analyses statistiques et les résultats dans le tableau 9.

D'après le graphique de la figure 35, on constate que le taux de Polyphénols présent dans le fruit du grenadier dans les différentes régions varie pour les échantillons de ce travail dans un intervalle compris : $[294,73 \pm 0,3691 - 104,27 \pm 0,0288]$ et est mesuré en unité de (mEqAG/100g). On remarque une large dominance du taux de Polyphénol dans les grenades issus de la région d'Alger alors que les grenades des différentes autres régions montrent un taux relativement faible.

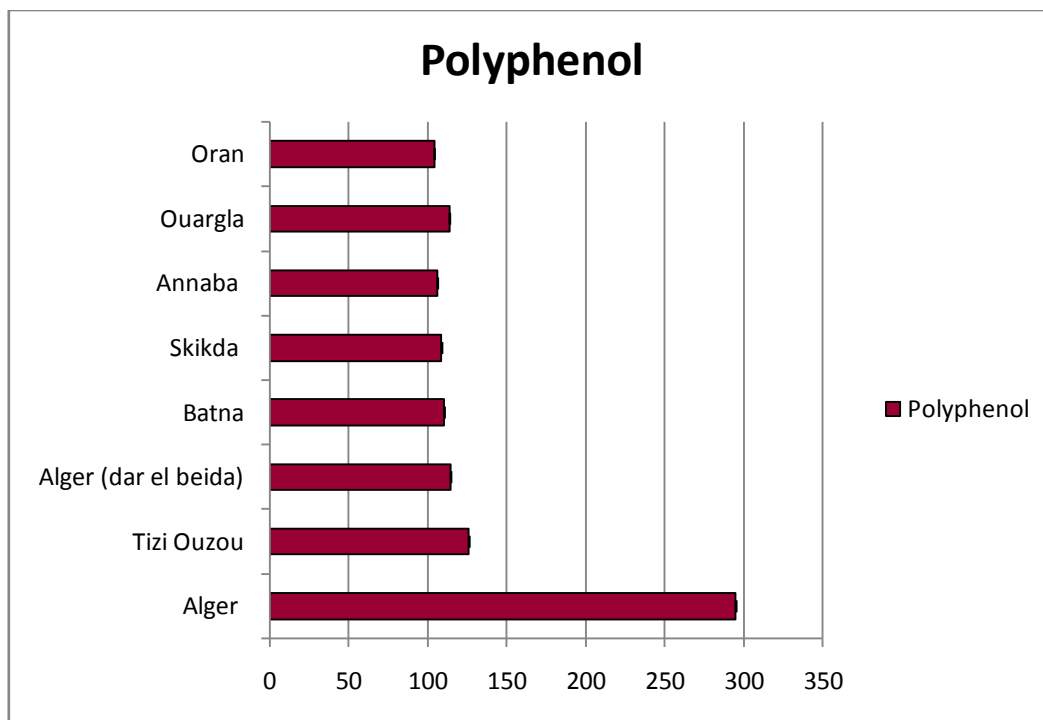


Figure 35: représentation graphique de la distribution du taux de Polyphénols sur les différentes zones d'échantillonnage.

Le taux de Flavonoïde

L'étude effectuée au laboratoire a été soumise à des analyses statistiques et les résultats dans le tableau 9.

Le graphique de la figure 36, montre le taux de flavonoïde (antioxydant) qui est mesuré en unité de (mEqAG/100g) et qui varie pour les échantillons des différentes zones dans un intervalle compris entre $[186,2566 \pm 0,3614$ et $42,36 \pm 0,0208]$.

Ce graphique, présente un profil qui ressemble au graphisme des polyphénols de la figure 35, ce qui est normal étant donné que le groupe des flavonoïdes appartient au groupe des Polyphénols et par conséquent, on constate également que le taux de flavonoïde est considérablement élevé au niveau de l'échantillon issu de la région d'Alger alors qu'il est faible dans les grenades des autres régions.

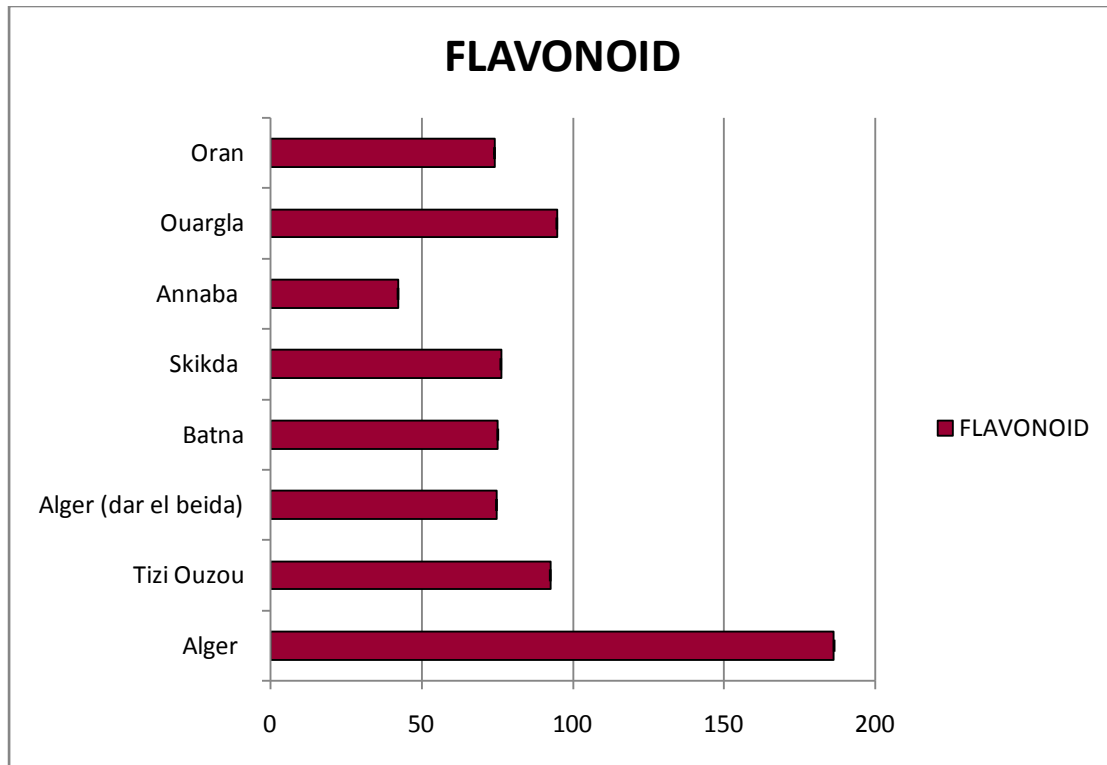


Figure 36: représentation graphique de la distribution du taux de Flavonoïdes sur les différentes zones d'échantillonnage.

8.3.4 Représentations graphiques des paramètres physico-chimiques du sol

Le pH.

Les résultats de pH, obtenus au laboratoire pour les différents échantillons de terre issus des différentes zones figurent dans le tableau 12.

Tableau 12: La variation du pH dans les zones d'échantillonnages

	Alger	Tizi Ouzou	dar El- Beida	Batna	Skikda	Annaba	Ouargla	Oran
pH	8,0683	8,334	8,1833	8,275	7,885	8,4	8,38	8,43

Le graphique de la figure 37 représente la mesure du pH au niveau des sols des différentes régions de prélèvement.

On remarque que la plus part des sols ont quasiment le même taux de pH, et ils présentent un pH neutre entre 7 et 8

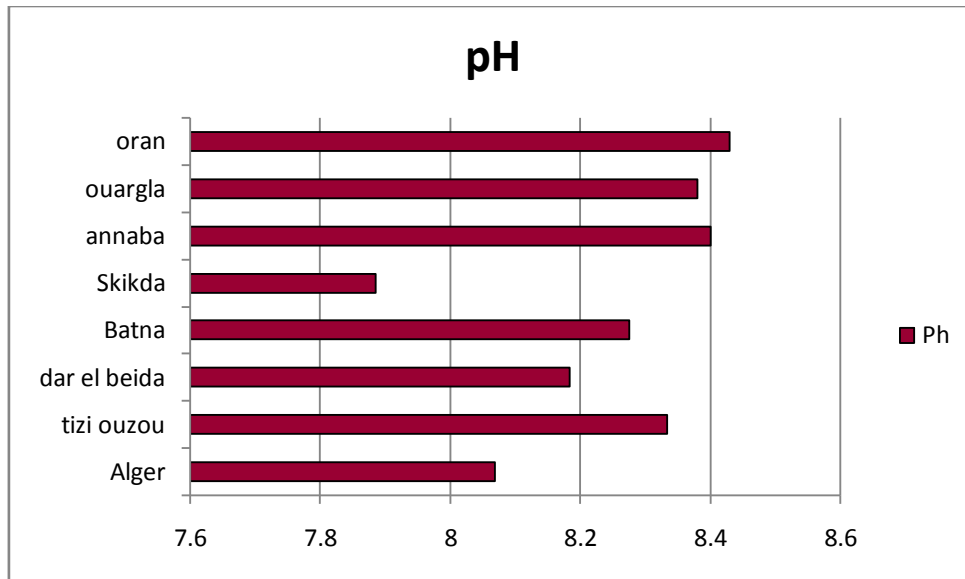


Figure 37: représentation graphique de la distribution du pH sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.

C'est le paramètre le plus sollicité étant donné qu'il indique en premier lieu l'acidité du sol et par conséquent il affecte la solubilité et la présence de certains éléments minéraux, généralement le pH qui avoisine le 7,0 est idéal pour la plupart des cultures [63].

Le tableau 13 permet de classer les échantillons de terre en fonction de leurs pH.

Tableau 13: Echelle d'interprétation du pH [k]

pH	Appréciation agronomique
$\text{pH} \leq 5.5$	Sol très acide
$5.5 < \text{pH} \leq 6.0$	Sol acide
$6.0 < \text{pH} \leq 6.5$	Sol peu acide
$6.5 < \text{pH} \leq 7.0$	Sol neutre
$7.0 < \text{pH} \leq 7.5$	Sol peu alcalin (peu basique)
$\text{pH} > 7.5$	Sol alcalin (basique)

On note d'après le graphisme de la figure 40 que le pH est assez alcalin dans tous les échantillons des différentes zones d'études, ce qui favorise les cultures des grenadiers.

La conductivité électrique

Les résultats obtenus dans le laboratoire pour les différents échantillons de terre issus des différentes zones figurent dans le tableau 14.

Tableau 14: La variation de la CE dans les zones d'échantillonnages

	Alger	Tizi Ouzou	dar El- Beida	Batna	Skikda	Annaba	Ouargla	Oran
CE (ds/m)	0,695	0,188	0,5333	0,69	0,38	0,18	0,85	0,72

On observe dans le graphisme de la figure 38 une large variation de la conductivité électrique présente sur les différents sols issus des zones de prélèvements , cependant, la terre de la région de Ouargla, semble avoir une conductivité très élevée, suivi de près par la conductivité de la terre de la région d’Oran et d’Alger, ainsi que de Batna, quant aux autres régions de prélèvements, elles présentent une conductivité électrique relativement faible.

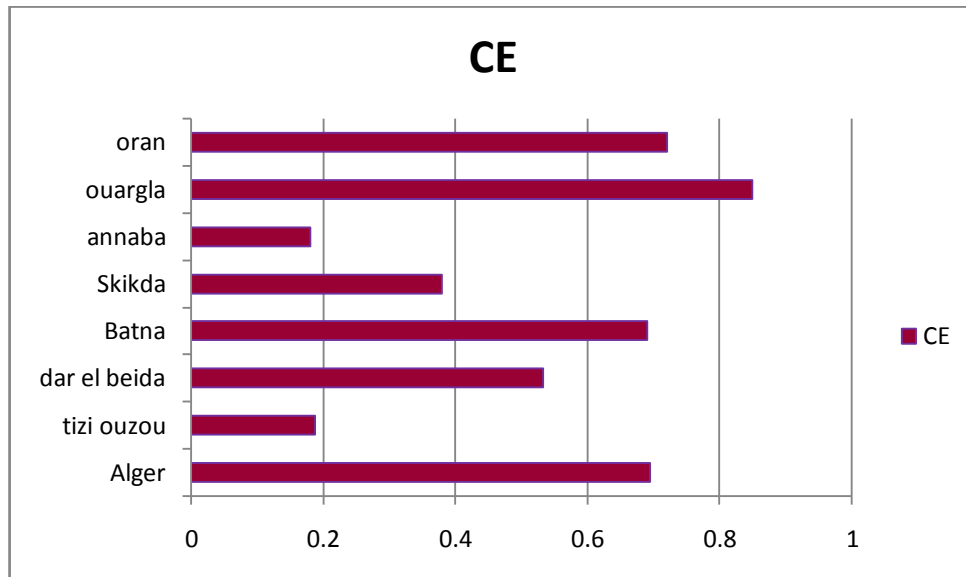


Figure 38: représentation graphique de la distribution de la CE sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.

Il est possible de classer les différents sols en fonction de la conductivité, ce qui nous indique sur la salinité de l'échantillon de terre comme le montre le tableau 15.

Tableau 15: Echelle d'interprétation de la CE

CE (mS/cm)	Niveau de salinité
0 – 0.75	Très faible
0.75 – 1.50	Faible
1.50 – 2.25	Moyenne
2.25 – 3.50	Forte
3.50 – 5.00	Très forte
> 5.00	Excessivement forte

On remarque d'après le graphisme de la figure 41 que la conductivité électrique du sol est la plus élevée au niveau de la région de Ouargla par contre elle est très faible au niveau des régions de Tizi Ouzou et de Annaba, quant aux régions d'Alger, Oran et Batna, ces dernières présentes une conductivité électrique relativement supérieure.

Le taux de P2O5 assimilable

Les résultats obtenus au laboratoire pour les différents échantillons figurent dans le tableau 16.

Tableau 16: La variation du P2O5 ass dans les zones d'échantillonnages

	Alger	Tizi Ouzou	dar el Beida	Batna	Skikda	Annaba	Ouargla	Oran
P205_As (ppm)	1454,4	1139,58	649,65	1399,085	135,415	1153,65	39,06	1713,54

On observe dans le graphique de la figure 39; une grande variation du taux de P2O5 assimilable avec un taux presque inexistant dans le sol de la région de Ouargla, alors qu'un taux maximum est observé au niveau des régions d'Oran ainsi que d'Alger et de Batna.

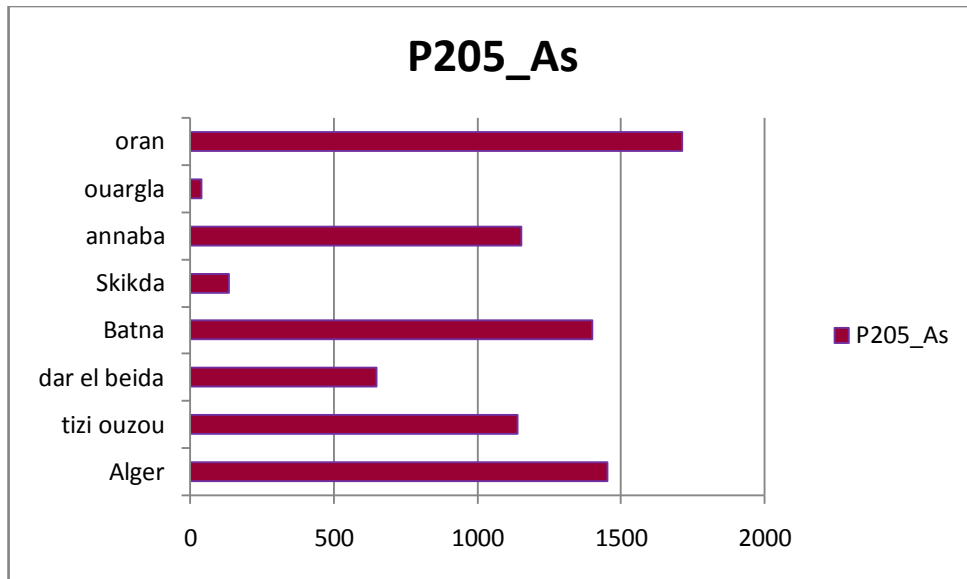


Figure 39: représentation graphique de la distribution de la P2O5 ass sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.

D'après le graphisme de la figure 42, on remarque que le taux de P2O5 assimilable est très faible au niveau de l'échantillon de sol de la région de Ouargla et de Skikda, alors qu'il présente des taux relativement élevés au niveau des régions d'Oran, d'Alger et de Batna.

Le calcaire total et le calcaire assimilable

Les résultats obtenus dans le laboratoire pour les différents échantillons issus des différentes zones au niveau du tableau 17.

Tableau 17: La variation du Calcaire total dans les zones d'échantillonnages

	Alger	Tizi Ouzou	dar el Beida	Batna	Skikda	Annaba	Ouargla	Oran
Calc_T (%)	17	10,298	10,366	13,33	7,235	10,37	10,37	26,89

Concernant le graphique de la figure 40, il montre une variation du taux de calcaire total au niveau des différents sols d'après les différentes régions d'études.

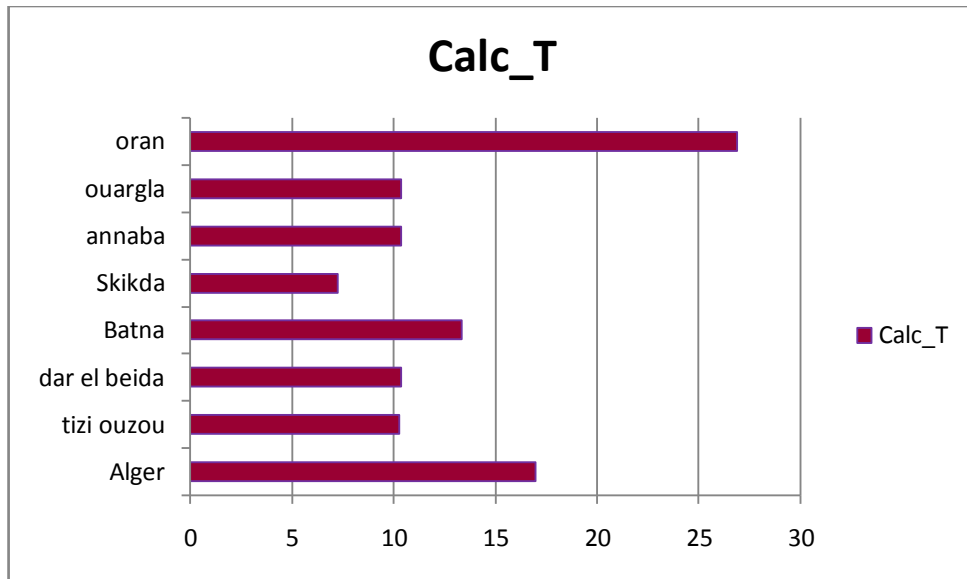


Figure 40: représentation graphique de la distribution du Calc tot sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.

On note d'après le graphisme de la figure 40 que le taux de calcaire Total est très élevé principalement au niveau de la région d'Oran, puis d'Alger, mais reste relativement faible au niveau de l'échantillon de sol des autres zones de prélèvement.

Un seuil de 5% en teneur de calcaire total rend inutile tout retour au chaulage, à cause des réserves naturelles de calcium et leur libération progressive par dissolution sous l'effet de l'activité **biologique** du sol, l'activité chimique et les précipitations: C'est pour cela que la mesure du calcaire actif est plus significative car il représente la fraction totale qui se dissout facilement et rapidement dans la solution du sol.

Un classement en fonction des indications du tableau 17, peut être réalisé pour les différents échantillons de terre en fonction de la teneur en calcaire total, permettant d'identifier l'appréciation agronomique du sol des différentes zones de prélèvement, comme le montre le tableau 18. [k]

Tableau 17: Echelle d'interprétation de la teneur en calcaire total

Teneur en calcaire total (%CaCO3)	Appréciation agronomique
$\text{CaCO}_3 \text{ total} \leq 5$	Sol non calcaire
$5 \% < \text{CaCO}_3 \text{ total} \leq 12.5\%$	Sol faiblement calcaire
$12.5 \% < \text{CaCO}_3 \text{ total} \leq 25\%$	Sol modérément calcaire
$25 \% < \text{CaCO}_3 \text{ total} \leq 50\%$	Sol fortement calcaire
$\% \text{CaCO}_3 \text{ total} > 50\%$	Sol très fortement calcaire

Concernant le calcaire actif, nous avons obtenu des résultats pour les échantillons de terre issus des différentes zones dans le tableau 18

Tableau 18: La variation du Calcaire actif dans les zones d'échantillonnages

	Alger	Tizi Ouzou	dar el Beida	Batna	Skikda	Annaba	Ouargla	Oran
Calc_Ac (%)	4,125	6,95	1,9667	6,375	3,25	3,5	9	1,5

Concernant le graphique de la figure 41, il présente un profil différent du calcaire total, car on observe que la région de Ouargla présente un taux très élevé par rapport aux autres régions contrairement aux taux de calcaire total. On remarque également que le taux de calcaire assimilable est très faible dans la région de Oran.

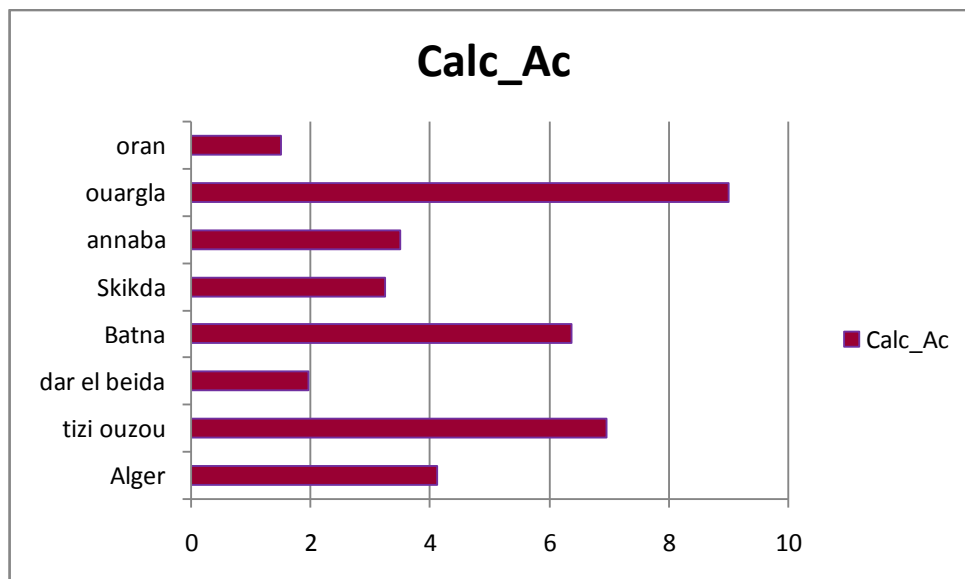


Figure 41: représentation graphique de la distribution du Calc actif sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.

Le graphisme de la figure 41 qui concerne le taux de calcaire actif, est l'inverse du graphisme de la figure 43 du calcaire total, car au niveaux des sols des différentes zones d'échantillonnage on remarque cette fois qu'on retrouve plus grande quantité au niveau de la région de Ouargla et Tizi Ouzou alors qu'une faible quantité au niveau de la région d'Oran et Alger.

On note donc que le calcaire total, n'est pas intégralement utilisé dans le sol, contrairement au calcaire actif car cela fait intervenir d'autres paramètres.

Le taux de calcaire actif peut avoir un impact sur les sols amoindri en fer libre et peut provoquer par conséquent une chlorose ferrique, auquel certaines cultures sont sensibles.

Le taux de matière organique

Les résultats obtenus au laboratoire pour les différents échantillons sont présentés dans le tableau 19.

Tableau 19: La variation de la matière organique dans les zones d'échantillonnages

	Alger	Tizi Ouzou	dar Beida	el Batna	Skikda	Annaba	Ouargla	Oran
MO (%)	2,64	3,49	2,7133	2,285	2,11	4,57	0,11	6,06

Le graphisme de la figure 42 montre la répartition de la matière organique au niveau du sol des différentes zones d'études et on note que comme pour la teneur du sol en P₂O₅ assimilable, on remarque que la matière organique est presque inexistante au niveau de la composition de la terre dans la région de Ouargla.

Ce pendant la composition de la terre de la région d'Oran est très riche en matière organique, suivis de près de la terre issus de la région d'Annaba, Les autres régions présente une composition du sol en matière organique de quantité moyenne et identique.

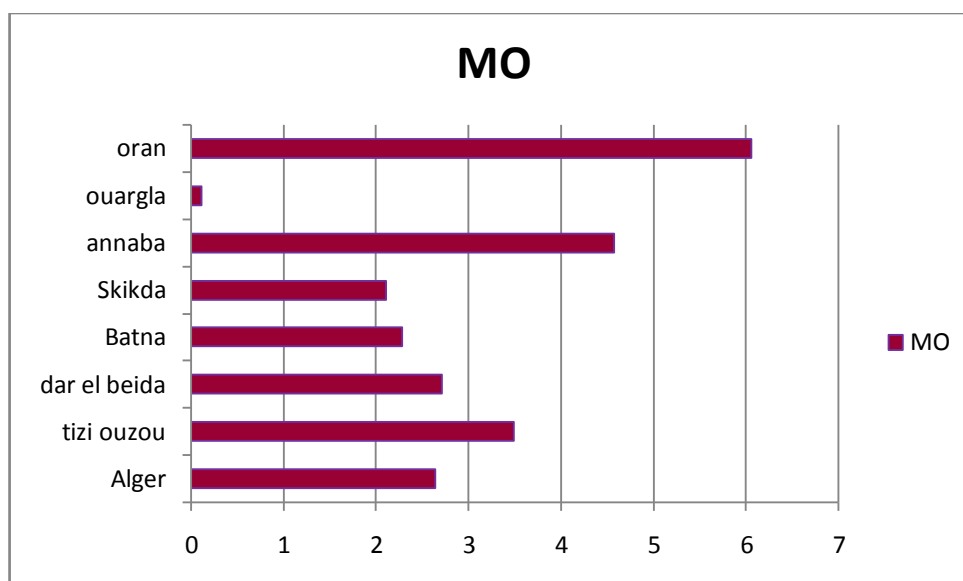


Figure 42: représentation graphique de la distribution de la Matière organique sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.

Le fonctionnement physique, chimique et biologique du sol, dépends de la matière organique, car elle permet une meilleure rétention d'eau utile et le stockage réversible des éléments nutritionnels ce qui augmente l'aération du sol, de ce fait un sol favorable au développement des cultures sera pourvu de matière organique et donc moins sensible aux aléas climatiques[k]. Les teneurs en azote des sols varient de 0.2‰ à 2.5‰ [16].

Il est possible de classer les échantillons de terre en fonction de la teneur en matière organique comme le montre le tableau 20.

Tableau 20: Echelle d'interprétation du taux de la matière organique selon [k].

Teneur en matière organique (MO) (%=)	Interprétation
MO < 1.4 %	Sol très pauvre en MO
1.4 % ≤ MO < 2.0 %	Sol pauvre en MO
2.0% ≤ MO < 3.0 %	Sol pourvu en MO
3.0 % ≤ MO < 4.0 %	Sol bien pourvu en MO
MO ≥ 4.0	Teneur élevée en MO

Le taux de magnésium

Les résultats obtenus au laboratoire pour les différents échantillons issus des zones d'échantillonnage sont représentés dans le tableau 21.

Tableau 21: La variation du taux de magnésium dans les zones d'échantillonnages

	Alger	Tizi Ouzou	dar el Beida	Batna	Skikda	Annaba	Ouargla	Oran
Mg⁺⁺ (méq/l)	2,5167	3	2,9333	3,4	4,5	1,4	1,6	5,2

Le graphique de la figure 43 représente la composition du sol des différentes régions du taux de Magnésium, et il montre qu'il présente un taux relativement élevé spécialement au niveau de la région d'Oran suivis de celui issu de la région de Skikda, par contre les deux régions de Ouargla et de Annaba, présentent une composition du sol plus faible en taux de magnésium.

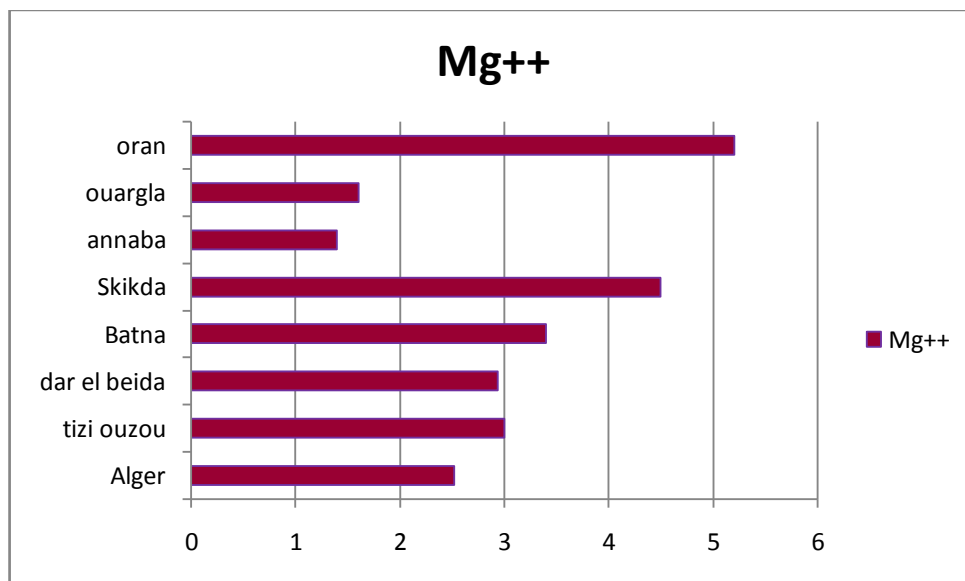


Figure 43: représentation graphique de la distribution de la Mg⁺⁺ sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.

Le taux de K₂O assimilable

Les résultats obtenus au laboratoire pour les différents échantillons sont représentés dans le tableau 22.

Tableau 22: La variation du taux de K₂O assimilable dans les zones d'échantillonnages

	Alger	Tizi Ouzou	dar El- Beida	Batna	Skikda	Annaba	Ouargla	Oran
K₂O_{As} (ppm)	331,98	311,186	294,53	231,69	138,905	64,02	31,76	681,41

La répartition du K₂O assimilable présent dans les différents échantillons de terres issus des régions de prélèvement est représentée sur le graphisme de la figure 44 et il montre une diffusion très variée avec un maximum au niveau de la région d'Oran et un minimum au niveau de la région de Ouargla.

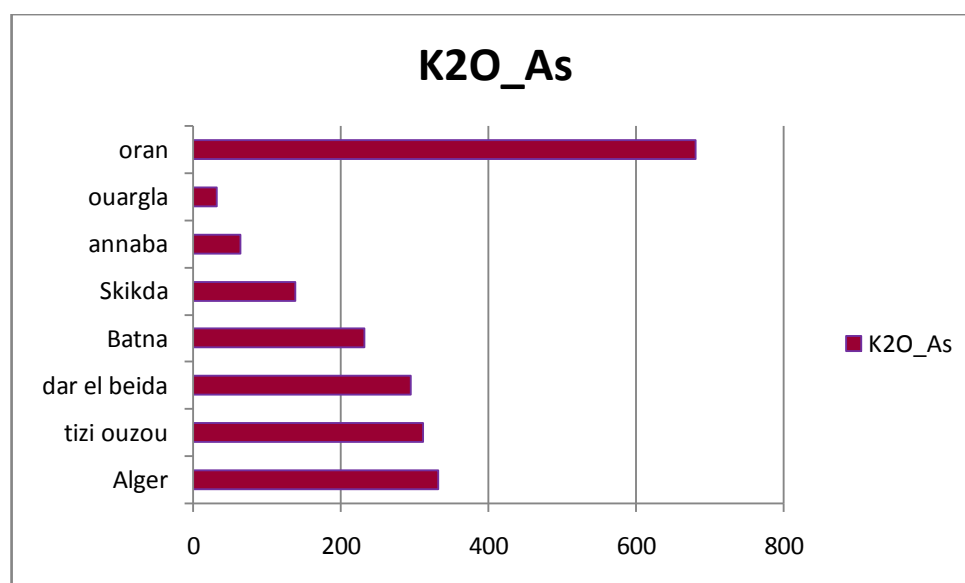


Figure 44: représentation graphique de la distribution de la K₂O_{ass} sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.

Le taux de potassium

Les résultats obtenus au laboratoire pour les différentes zones sont représentés dans le tableau 23.

Tableau 23: La variation du taux de potassium dans les zones d'échantillonnages

	Alger	Tizi Ouzou	dar el Beida	Batna	Skikda	Annaba	Ouargla	Oran
K⁺ (méq/l)	0,77	0,412	0,6467	0,37	0,255	0,25	0,25	2,37

Le taux de potassium présent dans les échantillons de sol des différentes régions montre d'après la figure 45, un taux relativement faible au niveau de toutes les régions, sauf

dans l'échantillon issu de la région d'Oran, ou au contraire il a atteint un taux excessivement élevé.

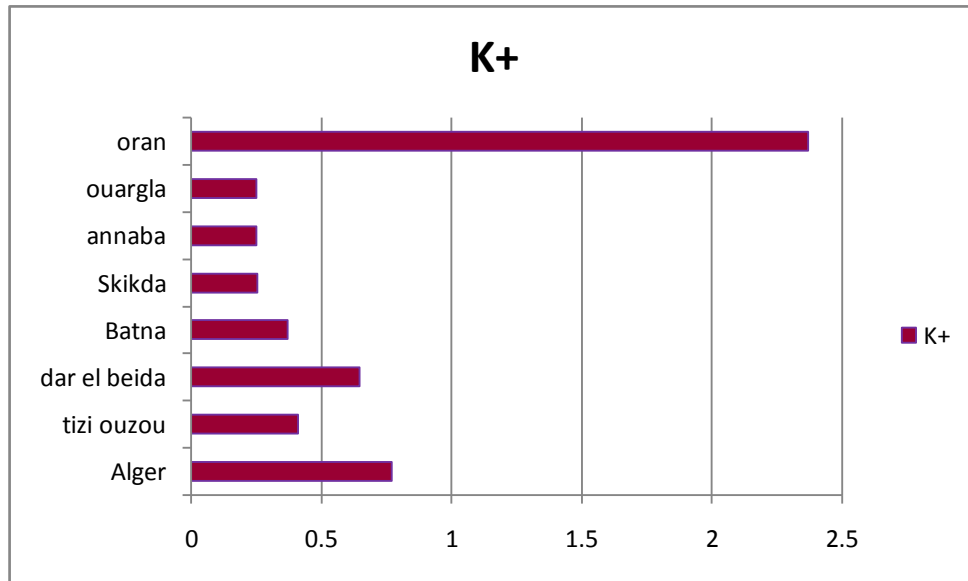


Figure 45: représentation graphique de la distribution de la K+ sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.

Le taux de HCO3

Les résultats obtenus au laboratoire pour les échantillons de terre issus des différentes zones sont représentés dans le tableau 24.

Tableau 24: La variation du taux de HCO3 dans les zones d'échantillonnages

	Alger	Tizi Ouzou	dar el Beida	Batna	Skikda	Annaba	Ouargla	Oran
HCO3⁻ (méq/l)	2,8	2,72	2,6667	1,9	2,3	2,4	0,36	4

On note d'après les observations du graphique de la figure 46, que la répartition du taux de HCO3- présent dans les différents échantillons de terre des régions de prélèvement est élevé et constant au niveau de la majorité des régions, sauf à Ouargla où il semble être très faible, presque inexistant alors qu'au contraire ce taux est élevé au niveau de la région d'Oran

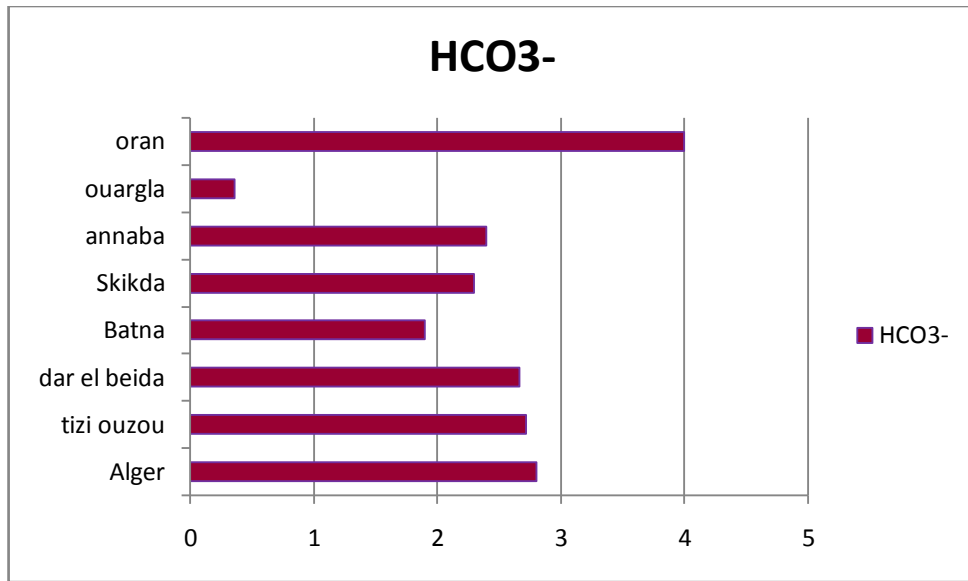


Figure 46: représentation graphique de la distribution de la HCO3- sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.

La minéralisation

Les résultats obtenus au laboratoire pour les différents échantillons de terre sont présentés dans le tableau 25.

Tableau 25: La variation du taux de minéralisation dans les zones d'échantillonnages

	Alger	Tizi Ouzou	dar el Beida	Batna	Skikda	Annaba	Ouargla	Oran
Miné (g/l)	0,4383	0,114	0,3333	0,435	0,235	0,11	0,54	0,46

La variation de minéralisation est représenté sous forme de graphique dans la figure 47 pour les différents échantillons de terres et on observe une large variation et plus précisément, 4 zones d'échantillonnage de terre qui présentent une minéralisation assez élevée: la zone de Ouargla, d'Oran, d'Alger ainsi que de Batna , alors qu'au contraire un taux très faible est observé au niveau de la région de Annaba.

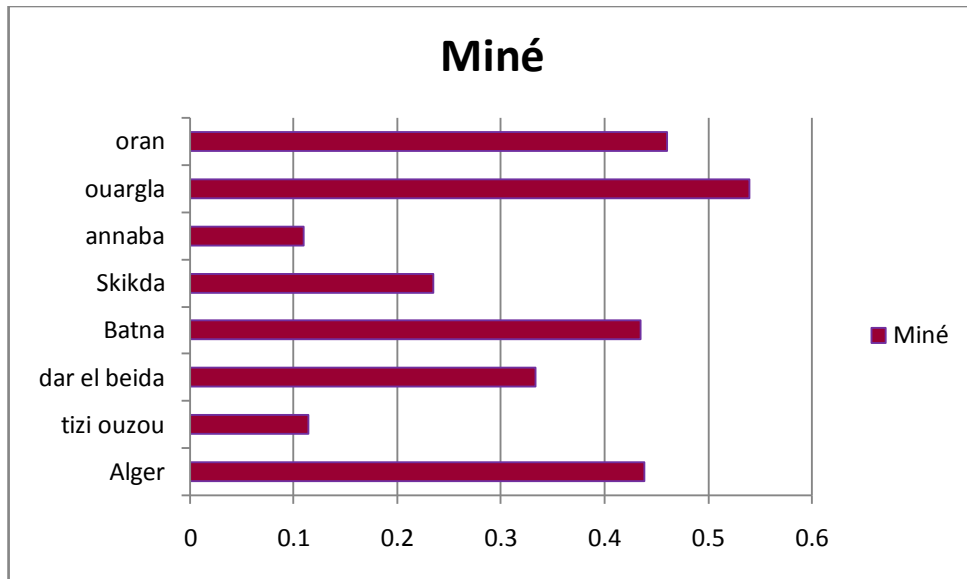


Figure 47: représentation graphique de la distribution de la minéralisation sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.

Le taux de calcium

Les résultats obtenus au laboratoire sont représentés dans le tableau 26.

Tableau26: La variation du taux de calcium dans les zones d'échantillonnages

	Alger	Tizi Ouzou	dar el Beida	Batna	Skikda	Annaba	Ouargla	Oran
Ca⁺⁺ (méq/l)	3,1667	0,92	2,2667	1,9	2	1	4	3

Le graphique ci-dessous (figure 48) montre une variation du taux de calcium présent dans les différents échantillons de terre et on observe que le calcium est abondant au niveau de la région de Ouargla suivi de près de celui de la région d'Alger ainsi que de Oran contrairement à la région de Annaba ainsi que de la région de Tizi Ouzou

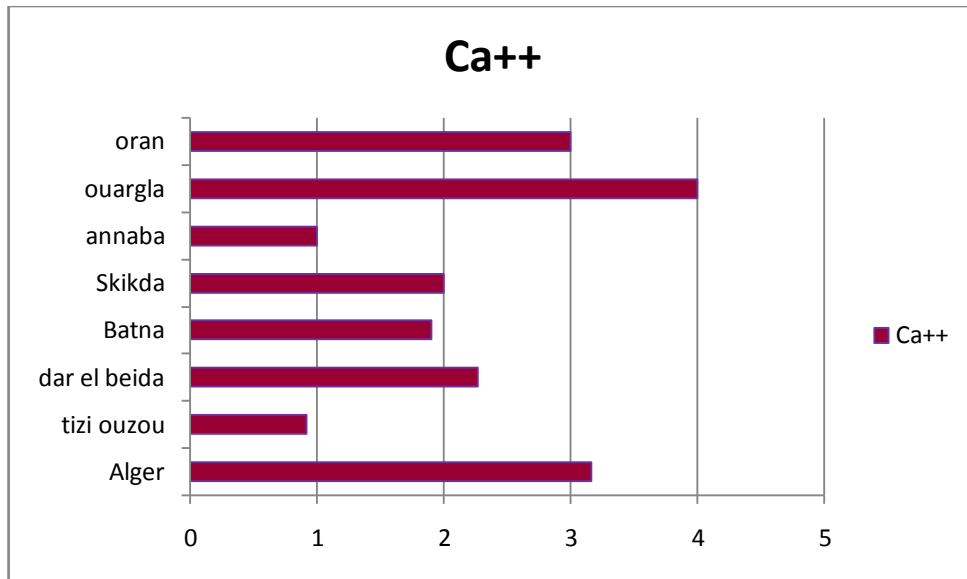


Figure 48: représentation graphique de la distribution du Ca++ sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.

Le taux de Chlore

Les résultats obtenus au laboratoire pour les différents échantillons de terre figurent dans le tableau 27.

Tableau 27: La variation du taux de calcium dans les zones d'échantillonnages

	Alger	Tizi Ouzou	dar el Beida	Batna	Skikda	Annaba	Ouargla	Oran
CT (még/l)	2,6	1,776	3,1467	2,72	1,64	2,4	2,56	4,96

Le graphisme de la figure 49 montre que le taux de chlore présent dans le sol est très élevé dans la région d'Oran, alors qu'il présente un profil, moyen à faible au niveau des autres régions.

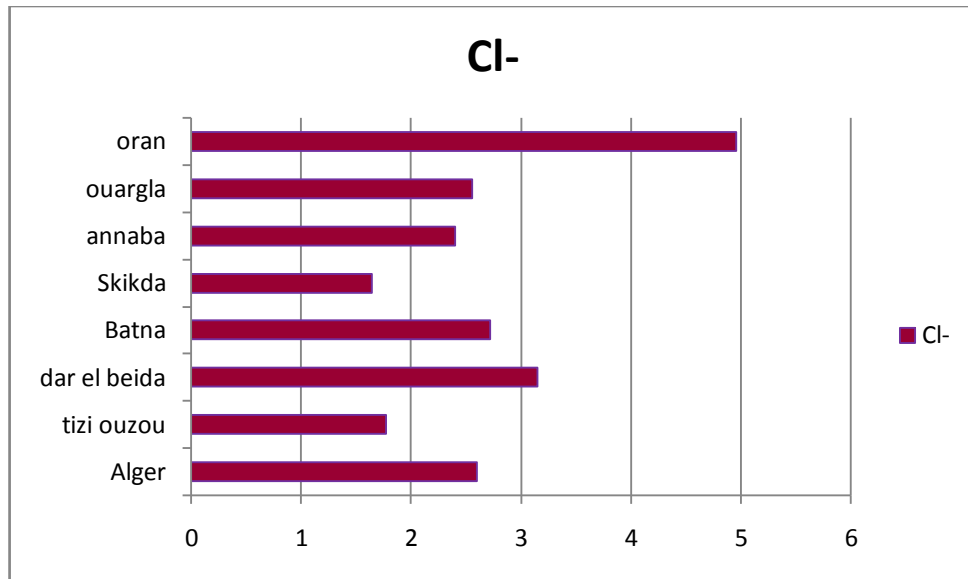


Figure 49: représentation graphique de la distribution du Cl- sur les différentes zones d'échantillonnage de terre.

8.3.5 Représentations graphiques des facteurs climatiques des différentes régions

Les facteurs climatiques des différentes régions sont représentés dans la figure 50

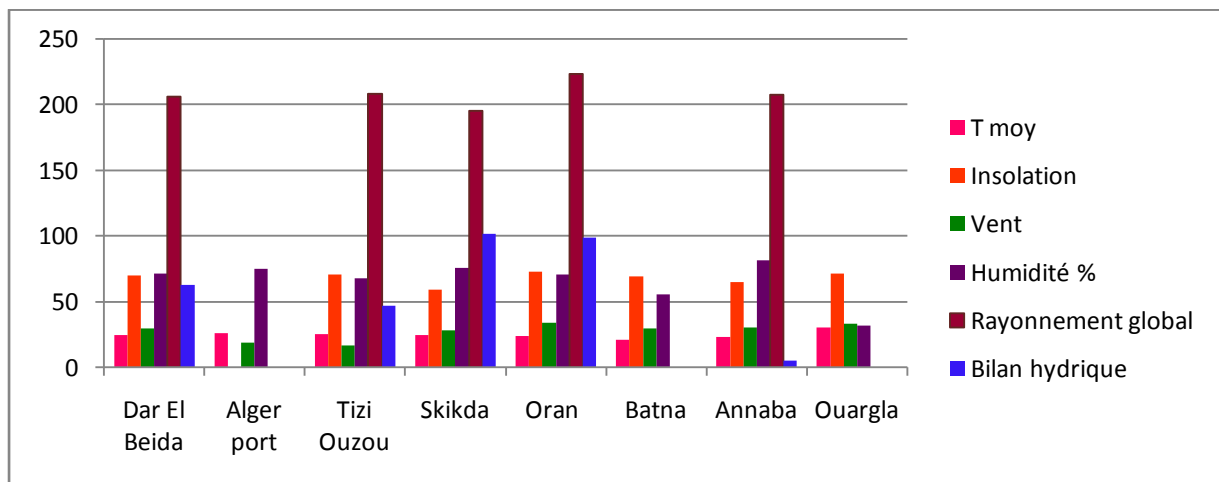


Figure 50: représentation graphique de la distribution des facteurs climatiques dans les différentes régions d'échantillonnage

L'insolation

Nous avons retenu les résultats climatiques, qui sont représentés sous forme d'un graphique en figure 51 pendant la période de récolte des échantillons et on constate donc que l'insolation fut à son maximum et constante pour toutes les zones étudiés.

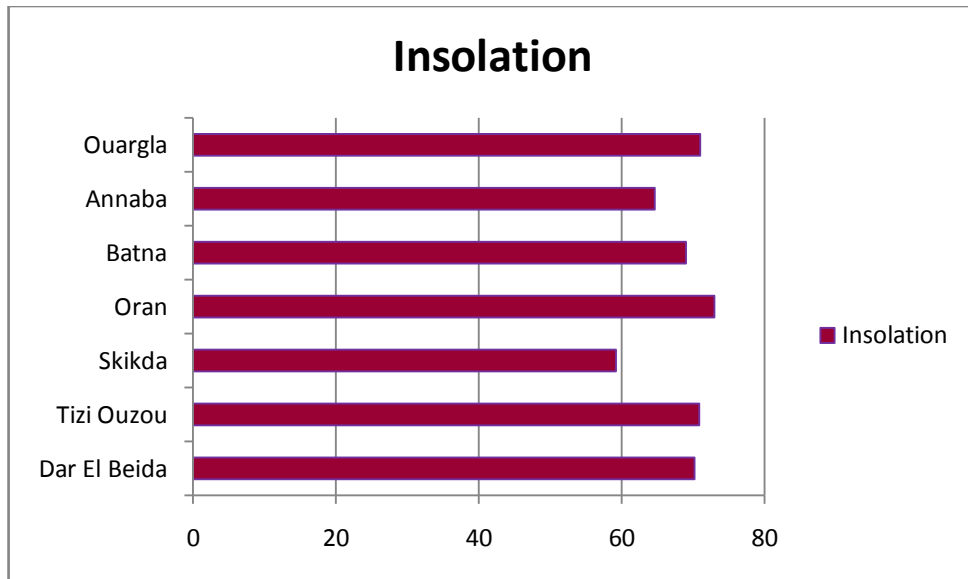


Figure 51: représentation graphique de l'insolation au niveau des différentes zones d'échantillonnage

Le facteur vent

Pendant la période de récolte des fruits mûrs, on remarque après représentation graphique des résultats sur la figure 52 que le vent fut relativement fort sur presque l'intégralité des zones d'étude avec une légère baisse au niveau de la région de Tizi Ouzou ainsi que de la région d'Alger

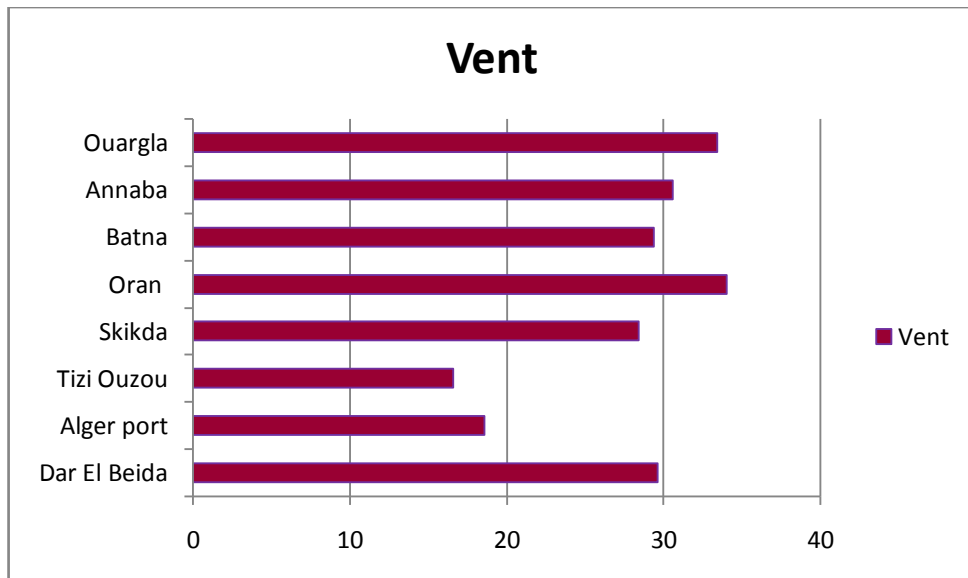


Figure 52: représentation graphique de l'intensité du vent au niveau des différentes zones d'échantillonnage

Le taux d'humidité

Le graphique de la figure 53 obtenu à partir des résultats durant la période de récolte de fruits de grenadiers mûrs, montre que le taux d'humidité a été relativement élevé au

niveau des différentes régions de prélèvement, mais un taux d'humidité assez faible spécialement sur la région de Ouargla.

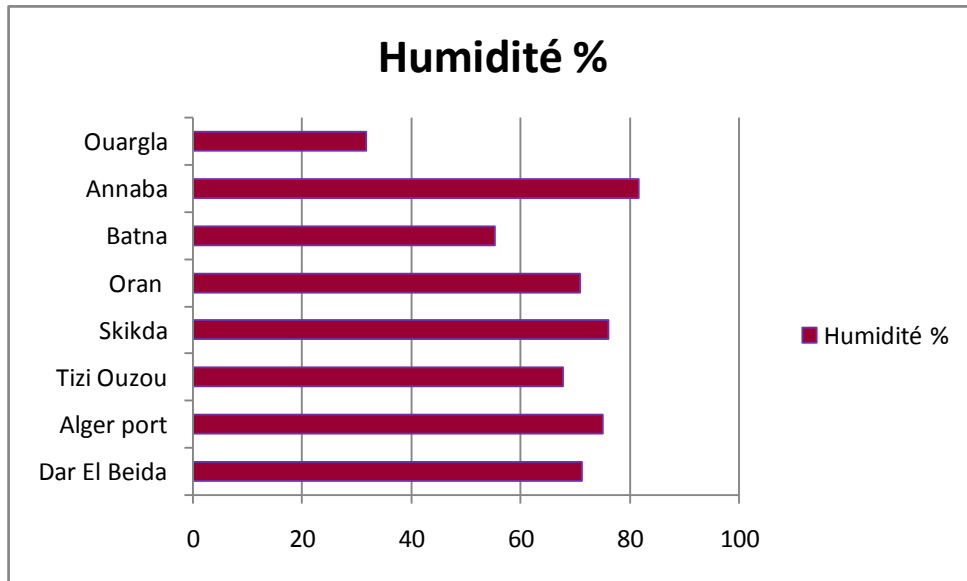


Figure 53: représentation graphique du taux d'humidité au niveau des différentes zones d'échantillonnage

Le rayonnement global

D'après les données obtenus et représentés dans le graphisme de la figure 54, on constate que le rayonnement global est assez élevé pendant la période d'échantillonnage, avec une légère hausse pour la région d'Oran, ce qui est en accord avec le graphisme précédent, ou le taux d'insolation est également au maximum au niveau de la région d'Oran.

Malheureusement concernant, la région de Ouargla, les données en relation avec le rayonnement globale n'ont pas pu être récupérées durant cette période, mais d'après sa proximité avec d'autres régions subarides, elle présenterait un taux assez élevé.

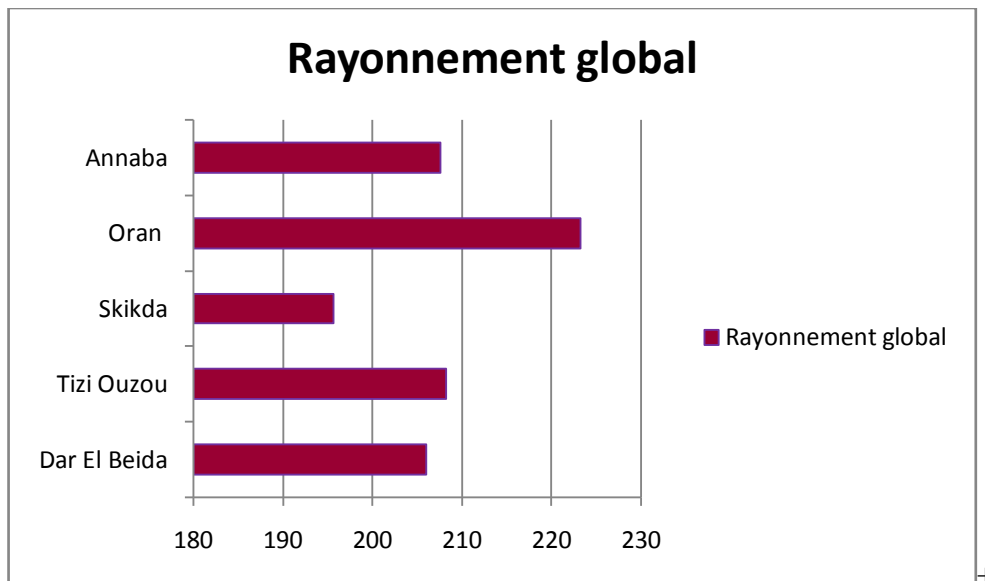


Figure 54: représentation graphique du taux de rayonnement global au niveau des différentes zones d'échantillonnage

Le bilan hydrique

Le graphisme de la figure 55, montre le bilan hydrique pendant la période de récolte des fruits et on constate une variation assez significative car les régions d'Oran et de Skikda, montrent une hausse du bilan hydrique alors que Annaba présente un profil opposé, ou ce Bilan hydrique est quasiment faible.

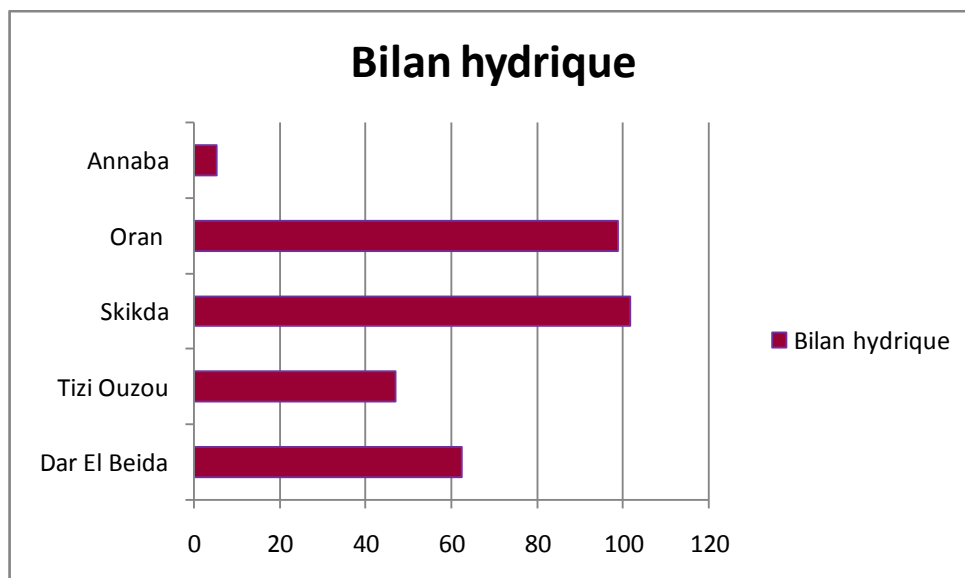


Figure 55: représentation graphique du taux de bilan hydrique au niveau des différentes zones d'échantillonnage

8.4 Analyse statistique

Après obtention des résultats au laboratoire, les matrices obtenues ont été soumises à l'étude statistique et représentés sous forme d'une moyenne \pm l'erreur standard de cette moyenne, ensuite nous avons réalisé des analyse de la variance ainsi que des moyennes avec le test ANOVA one-way, pour évaluer l'effet au seuil $P < 0.05$ par rapport à la plus petite différence significative; ensuite les résultats obtenus ont fait l'objet d'une analyse en composante principale (ACP) qui est un algorithme mathématique qui permet de réduire la dimensionnalité des données tout en conservant la plupart des variations des données de l'échantillon [36] :

8.4.1 Analyse en composantes principales (ACP) et son interprétation

Lors de notre étude, un grand nombre de facteurs quantitatifs et qualitatifs a été traités, ce qui nous a orienté vers une Analyse en Composantes Principales (ACP), sachant que cette technique d'analyse statistique a pour objectif de définir la variabilité de plusieurs différents facteurs et surtout d'élaborer l'ensemble des corrélations mathématiques existantes entre eux, par le biais de représentation graphique (sur des axes orthonormés) et pour cela nous avons utilisé le Logiciel "Past". Cette étude s'est effectuée en plusieurs étapes par une relation de corrélation mathématique entre les différentes variables et lorsque la corrélation est forte, cela nous indique que ces variables évoluent dans le même sens (corrélation positive) et dans le sens inverse la corrélation est dite négative.

Grace aux facteurs les mieux corrélés, il a été possible de définir un même axe de graphique. Le logiciel Past nous permet d'obtenir les valeurs propres et la variance expliquée pour chaque facteur, ce qui nous permet d'obtenir à chaque fois le nombre d'Axe qui nécessite d'être retenue dans notre analyse.

C'est grâce au pourcentage de la variabilité totale que l'on peut définir les Axes sélectionnés et un pourcentage d'au moins 60% permettrait donc de traiter l'information, mais la multiplication du nombre d'Axe, rend plus difficile l'interprétation des résultats de l'ACP, c'est pour cela qu'en général, nous allons retenir pour cette étude un nombre de 2 axes (deux dimensions).

Une interprétation de l'ACP nécessite une bonne signification des Axes, et pour chaque Axe, les variables sont caractérisées par leur score factoriel (coordonnée sur l'Axe:

contribution absolue en pourcentage d'information issue de la variable et la valeur de la corrélation avec l'Axe).

Suite à la définition des axes, chaque échantillon est représenté selon une position au niveau des repères orthonormés que forme les Axes sélectionnés et par la suite il est possible d'attribuer à chaque échantillon, les variables qui le caractérise.

8.4.2 Analyse statistique des propriétés du fruit du Grenadier

Analyse des groupes

L'analyse de groupe est un ensemble de méthodes statistiques, qui identifient des groupes d'échantillons qui se comportent de façon similaire ou présentent les même caractéristiques. Le mécanisme consiste à repartir les échantillons en fonction des mesures qui montrent la similarité des échantillons [57]

L'analyse de groupe est réalisée sur la base des différents paramètres pris en considération, ce qui a permis d'identifier plusieurs groupes.

Nos résultats ont été soumis à plusieurs analyses statistiques modifiant à chaque fois les paramètres présents dans la matrice comme suite:

- Métabolite 1: La relation entre les paramètres nutritionnels de la grenade et les échantillons de fruit.

- Métabolite 1 sans glucide: La relation entre les paramètres nutritionnels de la grenade (sans les glucides) et les échantillons de fruit.

- Métabolite 2: La relation entre les paramètres nutritionnels et les antioxydants de la grenade et les échantillons de fruit

- Métabolite 2 sans le glucide: La relation entre les paramètres nutritionnels et les antioxydants de la grenade (sans les glucides) et les échantillons de fruit.

- Métabolite 3 : La relation entre les paramètres physico-chimiques de la terre et les échantillons du fruit.

- Métabolite 3 sans le calcaire: La relation entre les paramètres physico-chimiques du sol (sans le calcaire) et les échantillons de fruit.

Les résultats obtenus à partir de l'analyse des groupes sont présentes sous forme de graphisme et de dendrogramme au niveau des figures suivantes.

Métabolite 1

Matrice de corrélation

La matrice de corrélation du tableau 28 permet d'obtenir une idée sur les liaisons existantes entre les variables prises deux à deux et lorsque la corrélation est positive et significative cela indique que ces couples évoluent dans le même sens, contrairement aux corrélations négatives qui évoluent dans des sens contraires.

Tableau 28: les résultats de la corrélation entre les composés chimiques du grenadier

	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p(same)
Between groups:	43138,2	5	8627,64	157,1	6,26E-51
Within groups:	6588,12	120	54,901		
Total:	49726,3	125			

Levene's test for homogeneity of variance, based on means: p(same) = 1,211E-20
Based on medians: p(same) = 3,07E-20

Welch F test in the case of unequal variances: F=69,1, df=53,39, p=4,38E-22

Tukey's pairwise comparisons:
Q \ p(same)

	Prot	gluc	lip	acid_ti	vit_c	val_énerg
Prot		0,0001363	1	0,9994	1	0,0001226
gluc	7,248		0,0001436	0,0001929	0,0001406	0,0001226
lip	0,1317	7,117		0,9999	1	0,0001226
acid_ti	0,4861	6,762	0,3544		0,9998	0,0001226
vit_c	0,08274	7,166	0,04901	0,4034		0,0001226
val_énerg	31,5	24,25	31,37	31,02	31,42	

On remarque donc d'après le tableau 28, obtenu grâce au logiciel "Past" que les glucides interagissaient avec les lipides, l'acidité titrable et la vitamine C, ce qui a influencé par conséquent la valeur énergétique, cette conclusion est raisonnable, étant donné que le calcul de la valeur énergétique dépend d'une équation regroupant ces mêmes paramètres.

Tableau 29: le choix des composantes principales

Axe 1	20.9664	99.84
Axe 2	0.0308851	0.14707

Pour les différentes Analyses en composante principale, le choix est basé sur l'inertie des axes et les plans qui le constituent dans le tableau 29, les résultats sont exprimés en pourcentage et en valeurs propres totales.

Résultats et discussion

Le premier axe principal a une valeur propre égal à 20.966 il explique 99.84% de la variation totale, la seconde composante est égale à 0.030 et explique 0.14 % de la variance totale.

Les pourcentages de variation sont acceptables pour les deux premiers axes avec un cumule de 99.98 %. Pour nos interprétations, nous allons donc nous limiter aux deux premiers axes factoriels (F1, F2).

Interprétation

La contribution de chaque variable dans l'expression de la composante principale permet d'obtenir le rapport de corrélation entre la variable et l'axe factoriel pris en compte et ce rapport est important, lorsque la variable contribue à l'expression de l'axe.

Le tableau 29 de la corrélation des variables aux principaux axes factoriels, montre que les variables sont mieux représentées avec l'axe1 (F1).

L'axe F1 est défini par la combinaison des variables (Acidité titrable, Vitamine C et protéine) et exprime une variabilité de 99.84% .

L'axe F2 exprime une variabilité de 0.14% et combine l'expression des variables (Valeur énergétique, glucide et lipide)

Représentation graphique de l'ACP

L'analyse en composante principale a été réalisée à partir du tableau 30 ci-dessous :

Tableau 30: résultat des moyennes et des erreurs standards des résultats de la composition chimique des grenadiers

0	Prot	Gluc	Lip	acid_ti	vit_c	val_énerg
Mean	0.143357	11.8633	0.356381	0.929333	0.277143	51.0775
Std. error	0.0387968	0.894447	0.0540075	0.240415	0.0330738	3.85002

Le plan F1xF2 des variables (cercle de corrélation issue de l'analyse) représente l'expression de deux gradients permettant de lire le plan F1xF2 (figure56).

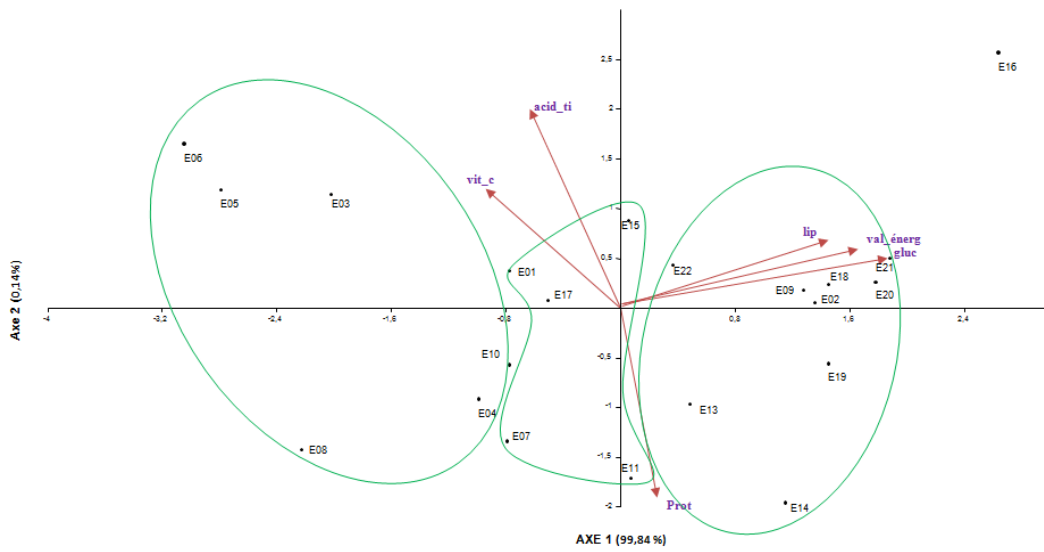


Figure 56: Représentation graphique de l'ACP; projection des variables du métabolite 1 et des observations sur le plan F1 x F2

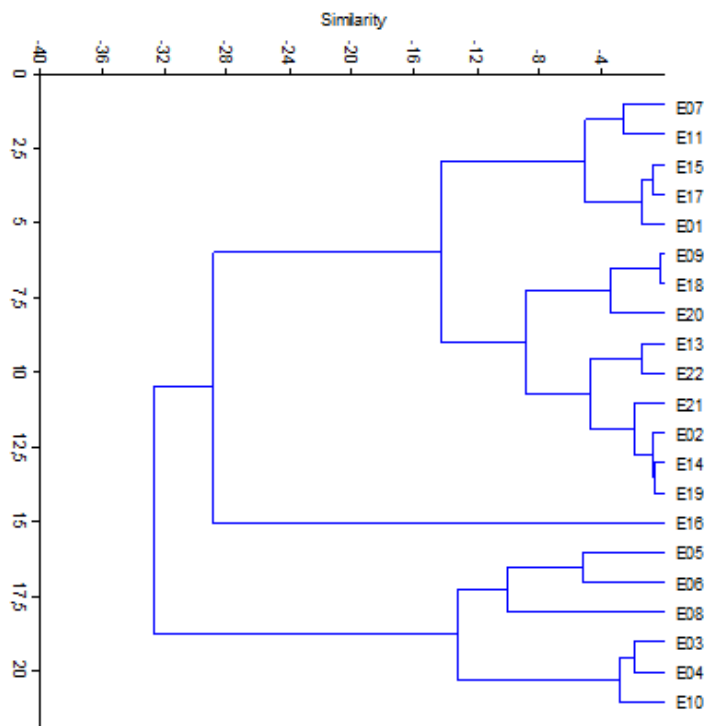


Figure 57: Représentation du Dendrogramme des échantillons en fonction des variables du métabolite 1.

Les graphismes de la figure 56 ainsi que le dendrogramme de la figure 57 nous permettent de définir la répartition des échantillons en fonction des paramètres nutritionnels du fruit en 3 groupes et cela en fonction des régions. Les résultats ont été résumés dans les tableaux 31 et 32.

Tableau 31: Résultats du regroupement des variables du métabolite 1

G1	G2	G3
Lipide	Acidité titrable	Proteine
Valeur énergétique	Vitamine C	
Glucide		

Tableau 32: Résultats de l'ACP des variables et des échantillons du métabolite 1

Groupes	Echantillon	Localisation
1 Lipide Valeur énergétique Glucide	E21	dar el beida
	E20	ouargla
	E18	tizi ouzou
	E17	tizi ouzou
	E22	tizi ouzou
	E02	dar el beida
	E09	skikda
	E22	tizi ouzou
	E15	batna
E 16	tizi ouzou	
2 Acidite titrable Vitamine C	E1	Alger port
	E17	tizi ouzou
	A03	Alger port
	E05	Alger port
	E06	Alger port
3 Protéine	E19	Annaba
	E13	oran
	E11	dar el beida
	E14	batna
Entre 2 et 3	E04	Alger port
	E07	Alger port
	E08	skikda
	E10	tizi ouzou

D'après les figure 56 et 57 on note que la majorité des échantillons issus des régions de Tizi Ouzou, Dar el Beida, Ouargla , Skikda et Batna se regroupent autour du taux de lipide , de glucide et aussi à coté de la valeur énergétique. Alors que la majorité des échantillons issus de la région d'Alger ont une meilleure affinité entre le taux de Vitamine C et d'acidité titrable.

Par contre, un taux important de protéine a été enregistré pour les échantillons issus des régions d'Oran, Annaba , Dar el Beida ainsi que Batna.

En absence du glucose

Métabolite 1 sans glucose :

Matrice de corrélation

La matrice de corrélation du tableau 33, permet d'obtenir une idée sur les liaisons existantes entre les variables prises deux à deux et lorsque la corrélation est positive et significative, cela indique que ces couples évoluent dans le même sens contrairement aux corrélations négatives qui évoluent dans des sens contraires.

Tableau 33: les résultats de la corrélation entre les composés chimiques en absence de glucide chez le grenadier

	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p(same)
Between groups:	43108,3	4	10777,1	172,4	6,058E-44
Within groups:	6252,1	100	62,521		
Total:	49360,4	104			

Levene's test for homogeneity of variance, based on means: p(same) = 2,576E-18
Based on medians: p(same) = 4,464E-18

Welch F test in the case of unequal variances: F=46,63, df=47,46, p=7,212E-16

Tukey's pairwise comparisons:
Q \ p(same)

	Prot	lip	acid_ti	vit_c	val_énerg
Prot		1	0,9977	1	0,0001163
lip	0,1235		0,9994	1	0,0001163
acid_ti	0,4555	0,3321		0,9989	0,0001163
vit_c	0,07754	0,04592	0,378		0,0001163
val_énerg	29,52	29,4	29,06	29,44	

On remarque donc d'après le tableau 33, obtenu grâce au logiciel Past que lorsque l'on élimine le paramètre "taux de glucide" de notre étude, on remarque que chacun des paramètres restant, influence directement et évolue dans la même direction que la valeur énergétique.

Choix des composantes principales

Tableau 34: Le choix des composantes principales en absence de glucide

Axe 1	1.9055	38.11
Axe 2	1.27433	25.487

Pour les différentes Analyse en Composante principales, le choix est basé sur l'inertie des axes représenté dans le tableau 34 et les plans qu'ils constituent, qui sont exprimés en pourcentage et valeurs propres totales.

Le premier axe principal à une valeur propre égal à 1.905, il explique 38.11% de la variation totale, la seconde composante égale à 1.27 et explique 25.487% de la variance totale.

Les pourcentages de variation sont assez acceptables pour les deux premiers axes avec un cumule de 63.597 %.

Pour nos interprétations, nous allons donc nous limiter aux deux premiers axes factoriels (F1, F2).

La contribution de chaque variable dans l'expression de la composante principale permet d'obtenir le rapport de corrélation entre les variables et l'axe factoriel pris en compte et ce rapport est important, lorsque la variable contribue à l'expression de l'axe.

Le tableau de la corrélation des variables aux principaux axes factoriels, montre que les variables sont mieux représentées avec l'axe1 (F1).

L'axe F1 est défini par la variable Protéine qui exprime une variabilité de 38.11%.

L'axe F2 exprime une variabilité de 25.48% et combine l'expression des variables (Vitamine C, Lipide et valeur énergétiques)

Représentation graphique de l'ACP

Le plan F1xF2 des variables (cercle de corrélation issue de l'analyse) représente l'expression de deux gradients permettant de lire le plan F1xF2 représenté en figure 58 ainsi que le dendrogramme en figure 61, réalisés grâce au logiciel Past à partir du tableau 35 ci dessous.

Tableau 35: résultats des moyennes et des erreurs standards des résultats de la composition chimique des grenadiers en absence du glucide

0	Prot	Lip	acid_ti	vit_c	val_énerg
Mean	0.143357	0.356381	0.929333	0.277143	51.0775
Std. Error	0.0387968	0.0540075	0.240415	0.0330738	3.85002

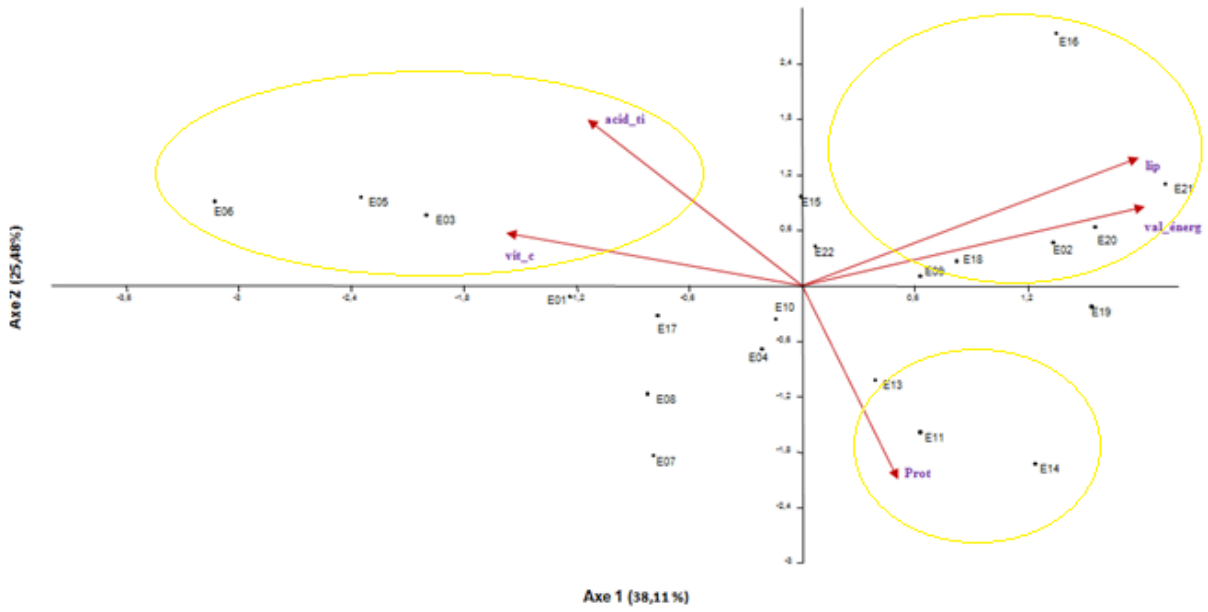


Figure 58: Représentation graphique de l'ACP; projection des variables du métabolite 1 sans glucide et des observations sur le plan F1 x F2

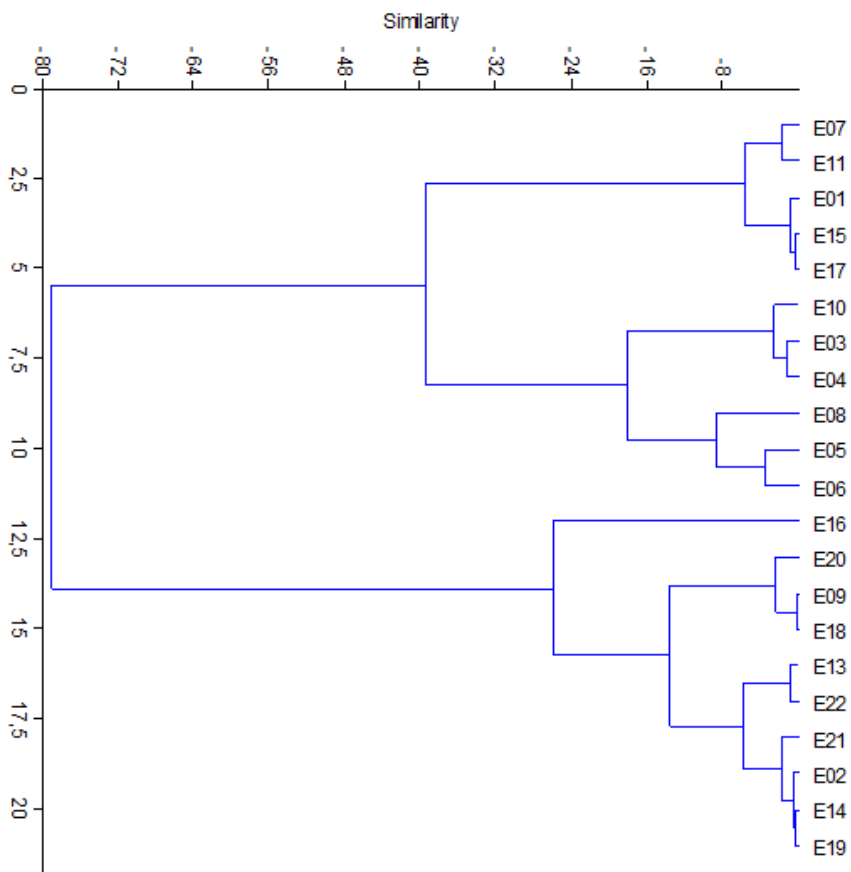


Figure 59: Représentation du Dendrogramme des échantillons en fonction des variables du métabolite 1 sans glucide.

Résultats et discussion

Le graphisme de la figure 58 ainsi que le dendrogramme de la figure 59 nous permettent de définir la répartition des échantillons en fonction des paramètres nutritionnels du fruit en 3 groupes, en fonction des régions, les résultats ont été résumés dans le tableau 36. On remarque que la répartition est similaire à celle précédente, donc d'après les résultats, le paramètre glucide seule n'a pas une incidence conséquente sur la variabilité des échantillons, mais c'est plutôt une symbiose entre les différents paramètres physico-chimiques qui se reflète par une répartition variée.

Tableau 36: Résultats du regroupement des variables du métabolite 1 en absence de glucide

G1	G2	G3
LIPIDE	ACIDITE TITRABLE	PROTEINE
VALEUR ENERGETIQUE	VITAMINE C	

Tableau 37: Résultats de l'ACP des variables et des échantillons du métabolite 1 en absence de glucide

GROUPE	ECHANTILLONS	ZONES
1 LIPIDE VALEUR ENERGETIQUE	16	tizi ouzou
	21	dar el beida
	20	ouargla
	22	tizi ouzou
	02	dar el beida
	18	tizi ouzou
	09	skikda
	ET 16	tizi ouzou
	17	tizi ouzou
2 ACIDITE TITRABLE VITAMINE C	22	tizi ouzou
	03	Alger
	05	Alger
	06	Alger
3 PROTEINE	15	Batna
	19	Annaba
	13	Oran
	11	Dar el Beida
Entre 2 et 3	14	Batna
	01	Alger
	10	TIZI OUZOU
	17	Tizi Ouzou
	04	Alger
	07	Alger
	08	Skikda

Après élimination des glucides on obtient le graphique de la figure 58, une 'ACP a été réalisée en ignorant son influence (glucide) afin de permettre aux autres composantes de s'exprimer et nous avons constaté que:

Plusieurs échantillons de la région de Tizi Ouzou, de Dar el beida, de Skikda et de Ouargla montrent qu'ils sont fortement caractérisés par la valeur énergétique ainsi que par le

taux de lipide, alors que les échantillons de la région d'Alger et de Batna montrent qu'ils sont fortement influencés par le taux de vitamine C ainsi que l'acidité titrable, par contre les protéines influencent plus les échantillons issus des régions de Dar el Beida , Oran, Batna et Annaba.

8.4.3 Analyse statistique des antioxydants et des propriétés du fruit du Grenadier

METABOLITE 2

Matrice de corrélation

La matrice de corrélation, permet d'obtenir une idée sur les liaisons existantes entre les variables prises deux à deux et lorsque les corrélations sont positives et significatives cela indique que ces couples évoluent dans le même sens contrairement aux corrélations négatives qui évoluent dans des sens contraires.

Tableau 38: les résultats de la corrélation entre les composés chimiques et les antioxydants du métabolite 2 chez le grenadier

	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p(same)			
Between groups:	357954	7	51136,3	48,07	6,534E-32			
Within groups:	127655	120	1063,79					
Total:	485609	127						
Levene's test for homogeneity of variance, based on means: p(same) = 1,371E-13								
Based on medians: p(same) = 3,936E-05								
Welch F test in the case of unequal variances: F=59,68, df=49,39, p=6,588E-22								
Tukey's pairwise comparisons:								
Q \ p(same)								
	Prot	gluc	lip	acid_ti	vit_c	val_énerg	Pol_phe_	FLAV
Prot		0,9618	1	1	1	0,0003133	0,0001169	0,0001169
gluc	1,513		0,9659	0,9758	0,9641	0,0109	0,0001169	0,0001169
lip	0,03109	1,482		1	1	0,0003323	0,0001169	0,0001169
acid_ti	0,1198	1,393	0,08873		1	0,0003965	0,0001169	0,0001169
vit_c	0,01676	1,496	0,01433	0,1031		0,0003233	0,0001169	0,0001169
val_énerg	6,597	5,084	6,566	6,477	6,58		0,0001169	0,003186
Pol_phe_	18,11	16,6	18,08	17,99	18,09	11,51		0,001506
FLAV	12,2	10,69	12,17	12,08	12,18	5,603	5,909	

On remarque donc d'après le tableau 38 obtenu grâce au logiciel Past, que si on considère le taux de glucide et les antioxydants on remarque que les paramètres du taux protéique, glucidique, lipidique, d'acidité titrable et de vitamine C ont une influence directe sur la valeur énergétique ainsi que le taux d'antioxydants (à savoir: les polyphénols et les flavonoides).

Tableau 39: Le choix des composantes principales

Axe 1	4.62592	57.82
Axe 2	1.38735	17.34

Pour les différentes Analyses en Composantes principales, le choix est basé sur l'inertie des axes et les plans qu'ils constituent, qui sont exprimés en pourcentage et valeurs propres totales tableau 39.

Le premier axe principal à une valeur propre égal à 4.625, il explique 57.82% de la variation totale. La seconde composante est égale à 1.387 et explique 17.34% de la variance totale.

Les pourcentages de variation sont assez acceptable pour les deux premiers axes avec un cumule de 75.16 %. Pour nos interprétations, nous allons donc nous limiter aux deux premiers axes factoriels (F1, F2).

Cette diversité de la distribution des échantillons est basée sur les paramètres physico-chimiques des grenades, comme le montre des études, comme celle effectuée sur de 30 échantillons de différentes zones de grenadier issus en Tunisie, comprenant les paramètres physico-chimiques du fruit qui ont été soumis à une ACP et qui ont été considérés comme un centre de diversification du grenadier, en élaborant un taux de variabilité de 49,29 % [45], tandis que ce taux de variabilité est de 93,34 % lors d'une ACP réalisée sur la composition phénolique et l'activité antioxydante de 8 'jus' extraits des variétés de grenadiers cultivées en Turquie [18]

La contribution de chaque variable dans l'expression de la composante principale permet d'obtenir le rapport de corrélation entre la variable et l'axe factoriel pris en compte et ce rapport est important, lorsque la variable contribue à l'expression de l'axe.

Le tableau 39 de corrélation des variables aux principaux axes factoriels, montre que les variables sont mieux représentées avec l'axe1 (F1).

L'axe F1 est défini par la combinaison des variables (protéine et lipide) et exprime une variabilité de 57.82 % .

L'axe F2 exprime une variabilité de 17.34 % et combine l'expression des variables (vitamine C, polyphénol et flavoïde)

Représentation graphique de l'ACP

Le plan F1xF2 des variables (cercle de corrélation issue de l'analyse, représente l'expression de deux gradients permettant de lire le plan F1xF2 (figure 60).

Quand aux résultats des moyennes et l'erreur standard ils sont représentés sur le tableau 40.

Tableau 40: résultats des moyennes et des erreurs standards des résultats de la composition chimique et des antioxydants des grenadiers

0	Prot	Gluc	Lip	acid_ti	vit_c	val_énerg	Pol_phe_	FLAV
Mean	0.147744	12.4856	0.40125	1.12475	0.284375	53.9386	147.809	99.6266
Std.Error	0.0442526	0.993175	0.061812	0.300196	0.0367533	4.29564	18.8198	12.5767

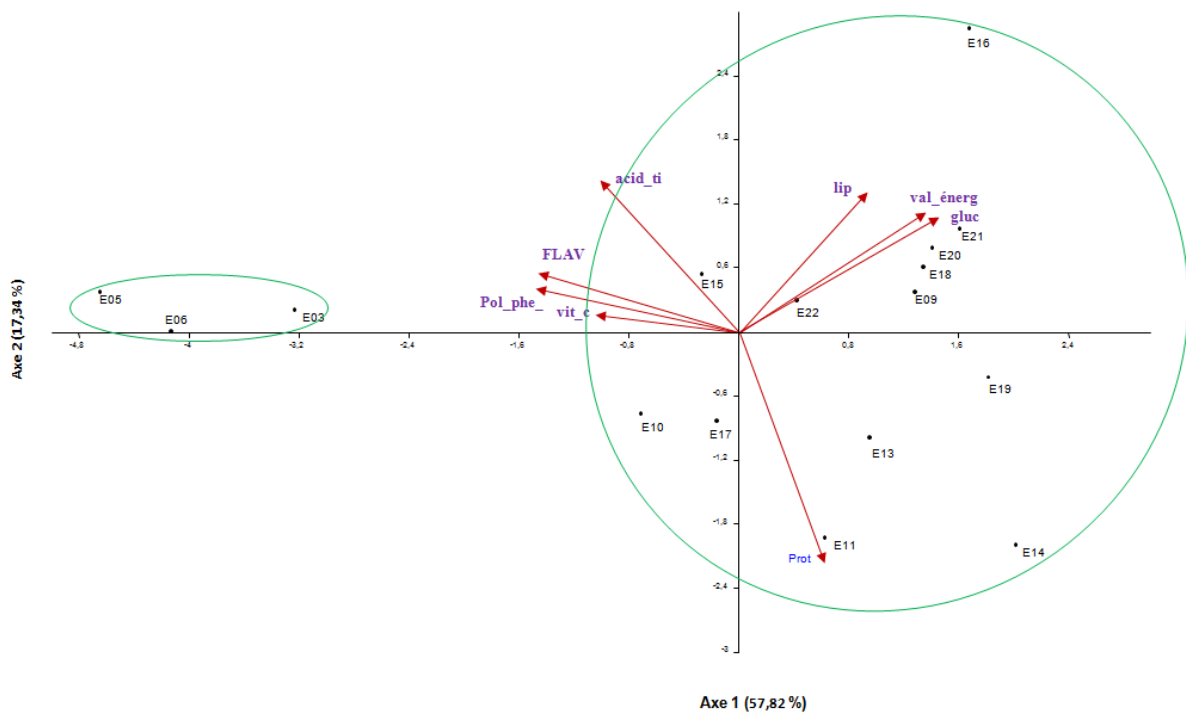


Figure 60: Représentation graphique de l'ACP; projection des variables du métabolite 2 et des observations sur le plan F1 x F2

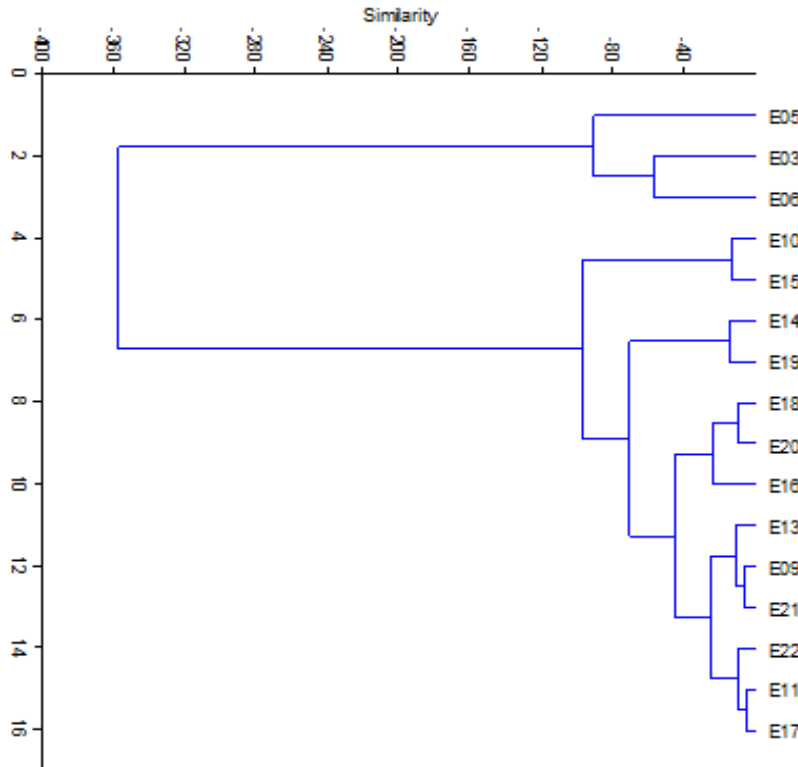


Figure 61: Représentation du Dendrogramme des échantillons en fonction des variables du métabolite 2.

Le graphisme de la figure 60 ainsi que le dendrogramme de la figure 61, nous ont permis de définir la répartition des échantillons en fonction des paramètres nutritionnels du fruit en 2 groupes bien distincts, en fonction des régions et les résultats ont été résumés dans le tableau 41 et le tableau 42.

Tableau 41: Résultats du regroupement des variables du métabolite 2

G1	G2	G3
LIPIDE	ACIDITE TITRABLE	
VALEUR ENERGETIQUE	VITAMINE C	PROTEINE
GLUCIDE	FLAVONOIDE	
	POLYPHENOL	

Tableau 42: Résultats de l'ACP des variables et des échantillons du métabolite 2

GROUPE	ECHANTILLONS	ZONES
1 LIPIDE VALEUR ENERGETIQUE GLUCIDE	E21	Dar el beida
	E20	Ouargla
	E18	Tizi ousou
	E09	Skikda
	E22	Tizi ousou
	E16	Tizi ousou
	E17	Tizi ousou
2 ACIDITE TITRABLE VITAMINE C FLAVONOIDE POLYPHENOL	E22	Tizi ousou
	E15	Batna
	A03	Alger
	E06	Alger
3 PROTEINE	E05	Alger
	E19	Annaba
	E13	Oran
	E14	Batna
Entre 2 et 3	E11	Dar el beida
	E17	Tizi ousou
	E10	Tizi ousou

METABOLITE 2 (En absence des glucides)

Matrice de corrélation

La matrice de corrélation du tableau 43 a permis d'obtenir une idée sur les liaisons existantes entre les variables prises deux à deux et lorsque les corrélations sont positives et significatives cela indique que ces couples évoluent dans le même sens contrairement aux corrélations négatives qui évoluent dans des sens contraires.

Tableau 43: Les résultats de la corrélation entre les composés chimiques et les antioxydants du métabolite 2 chez le grenadier en absence de glucide

	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p(same)
Between groups:	344632	6	57438,7	47,33	1,088E-27
Within groups:	127418	105	1213,51		
Total:	472050	111			

Levene's test for homogeneity of variance, based on means: p(same) = 8,199E-12
Based on medians: p(same) = 0,000144

Welch F test in the case of unequal variances: F=46,58, df=44,63, p=1,305E-17

Tukey's pairwise comparisons:
Q \ p(same)

	Prot	lip	acid_ti	vit_c	val_énerg	Pol_phe_	FLAV
Prot		1	1	1	0,0006869	0,0001233	0,0001233
lip	0,02911		1	1	0,0007323	0,0001233	0,0001233
acid_ti	0,1122	0,08308		1	0,0008893	0,0001233	0,0001233
vit_c	0,01569	0,01342	0,0965		0,0007109	0,0001233	0,0001233
val_énerg	6,177	6,147	6,064	6,161		0,0001233	0,006071
Pol_phe_	16,96	16,93	16,84	16,94	10,78		0,003109
FLAV	11,42	11,39	11,31	11,41	5,246	5,533	

On constate d'après le tableau 43 obtenu grâce au logiciel Past, que même si on élimine le taux de glucide de notre étude, les autres composants chimiques influencent directement les valeurs énergétiques et que les antioxydants également (polyphenols et flavonoids)

Tableau 44: Choix des composantes principales

Axe 1	3.94505	56.36
Axe 2	1.2268	17.53

Pour les différentes Analyse en Composantes principales, le choix est basé sur l'inertie des axes et les plans qu'ils constituent, sont exprimés en pourcentage et valeurs propres totales (tableau 44).

Le premier axe principal à une valeur propre égal à 3.945, il explique 56.36% de la variation totale.

La seconde composante est égale à 1.226 et explique 17.53% de la variance totale.

Les pourcentages de variation sont acceptables pour les deux premiers axes avec un cumule de 73.89%.

Pour nos interprétations, nous allons alors nous limiter aux deux premiers axes factoriels (F1, F2).

La contribution de chaque variable dans l'expression de la composante principale permet d'obtenir le rapport de corrélation entre la variable et l'axe factoriel pris en compte et ce rapport est important, lorsque la variable contribue à l'expression de l'axe.

Le tableau de la corrélation des variables aux principaux axes factoriels, montre que les variables sont mieux représentées avec l'axe1 (F1).

L'axe F1 est défini par la combinaison des variables (protéine, acidité titrable et lipide) et exprime une variabilité de 56.36%.

L'axe F2 exprime une variabilité de 17.53% et combine l'expression des variables (vitamine C, polyphenol et flavonoid)

Représentation graphique de l'ACP

Le plan F1xF2 des variables (cercle de corrélation issue de l'analyse, représente l'expression de deux gradients permettant de lire le plan F1xF2 (figure 62). Les moyennes et l'erreur standard sont représentées dans le tableau 45

Tableau 45: résultats des moyennes et des erreurs standards issus de la composition chimique et des antioxydants des grenadiers en absence du glucide

0	Prot	Lip	acid_ti	vit_c	val_énerg	Pol_phe_	FLAV
Mean	0.147744	0.40125	1.12475	0.284375	53.9386	147.809	99.6266
Std. error	0.0442526	0.061812	0.300196	0.0367533	4.29564	18.8198	12.5767

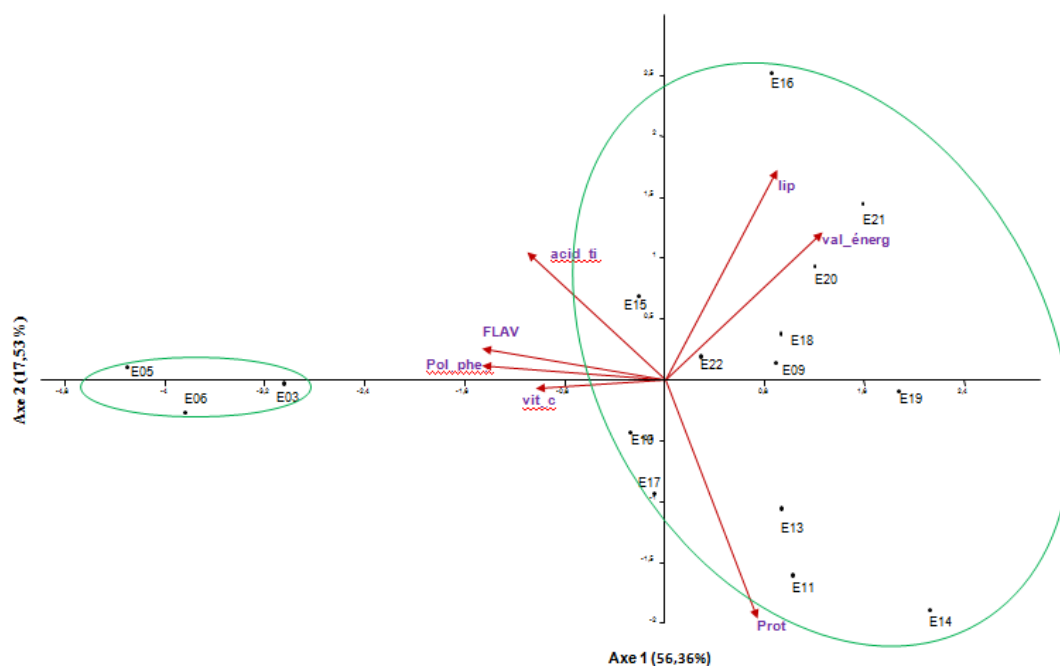


Figure 62: Représentation graphique de l'ACP; projection des variables du métabolite 2 sans glucide et des observations sur le plan F1 x F2

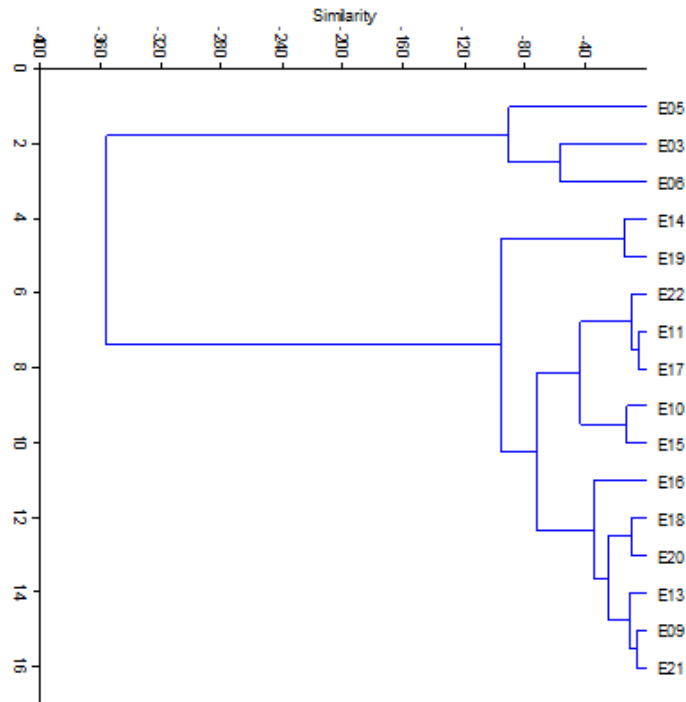


Figure 63: Représentation du Dendrogramme des échantillons en fonction des variables du métabolite 2 sans glucide.

Le graphisme de la figure 62 ainsi que le dendrogramme de la figure 63, nous permettent de définir la répartition des échantillons en fonction des paramètres nutritionnels du fruit en 3 groupes en fonction des régions et les résultats ont été résumé dans le tableau 46 et le tableau 47.

On remarque des résultats semblables à la répartition précédente, donc d'après les résultats, le paramètre glucide seule n'a pas une incidence conséquente sur la variabilité des échantillons, mais c'est plus une symbiose entre les différents paramètres physico-chimiques qui se reflète par une répartition variée.

Tableau 46: Résultats du regroupement des variables du métabolite 2 en absence de glucide

G1	G2	G3	G4
Lipide	Acidite titrable	Vitamine C	Proteine
Valeur energetique	Flavonoide		
	Polyphenole		

Tableau 47: Résultats de l'ACP des variables et des échantillons du métabolite 2 en absence de glucide

GROUPES	ECHANTILLONS	ZONES
1	E16	Tizi ousou
	E21	Dar el beida
	E20	Ouargla
	E18	Tizi ousou
	E09	Skikda
	E22	Tizi ousou
2	E15	Batna
	E05	Alger
3	A03	Alger
	E06	Alger
	E10	Tizi Ouzou
	E17	Tizi ousou
4	E19	Annaba
	E13	Oran
	E11	Dar el beida
	E14	Batna

Concernant le graphique de la figure 64, on remarque que les antioxydants se regroupent avec le taux d'acidité et de vitamine C et influencent principalement les échantillons provenant des régions d'Alger et de Batna, alors que la majorité des échantillons de la région de Tizi Ouzou ainsi que ceux de Ouargla, Dar el Beida et de Skikda étaient plutôt sous la dépendance du taux de glucose, de lipide et par conséquent de la valeur énergétique.

Concernant les protéines, ils regroupent plus les échantillons des régions d'Annaba, de Batna de Oran et de Dar el Beida.

8.4.4 Analyse statistique des paramètres physico-chimique du sol

Métabolite 3: En présence du calcaire :

Tableau 48: Le choix des composantes principales

Axe 1	4,7791	34,14
Axe 2	2,90831	20,77

Résultats et discussion

Pour les différentes analyses en composantes principales, le choix est basé sur l'inertie des axes et les plans qu'ils constituent, qui sont exprimés en pourcentage et valeurs propres totales (tableau 48).

Le premier axe principal à une valeur propre égal à 4.779, il explique 34.14% de la variation totale. La seconde composante est égale à 2.908 et explique 20.77% de la variance totale.

Les pourcentages de variation sont moyennement faibles mais acceptables pour les deux premiers axes avec un cumule de 54.91%.

Pour nos interprétations, nous allons alors se limiter aux deux premiers axes factoriels (F1, F2).

La contribution de chaque variable dans l'expression de la composante principale permet d'obtenir le rapport de corrélation entre la variable et l'axe factoriel pris en compte et ce rapport est important, lorsque la variable contribue à l'expression de l'axe.

Le tableau 48 de la corrélation des variables aux principaux axes factoriels, montre que les variables sont mieux représentées avec l'axe1 (F1).

L'axe F1 est défini par la combinaison des variables (pH, P2O5 ass et calcaire actif) et exprime une variabilité de 34.14% .

L'axe F2 exprime une variabilité de 20.77% et combine l'expression des variables (So4, Mg++, K+, Cl-)

Les moyennes et l'erreur standards sont regroupées dans le tableau 49.

Tableau 49: résultat des moyennes et des erreurs standards des résultats de la composition physico-chimique du sol.

	CE	Ph	P205_As	Calc_T	Calc_Ac	MO	K2O_As	Miné	Ca++	Mg++	K+	HCO3-	Cl-	SO4-
Mean	0,54	8,19	1164,87	13,45	4,35	2,864	295,81	0,33	2,38	2,97	0,63	2,56	2,54	3,89
Std. error	0,0739	0,101	244,08	1,26	0,65	0,41	51,92	0,047	0,25	0,34	0,12	0,21	0,23	0,64

Représentation graphique de l'ACP

Le plan F1xF2 des variables (cercle de corrélation issue de l'analyse, représente l'expression de deux gradients permettant de lire le plan F1xF2 (figure 64).

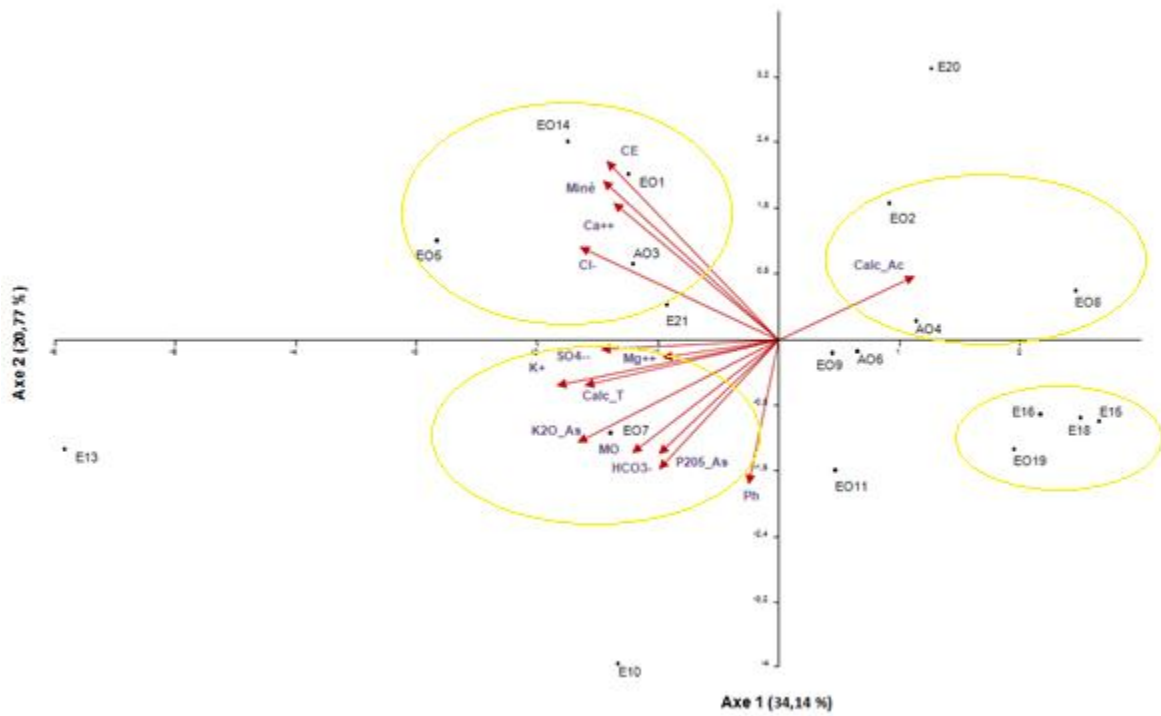


Figure 64: Représentation graphique de l'ACP; projection des variables des paramètres physico-chimique du sol et des observations sur le plan F1 x F2

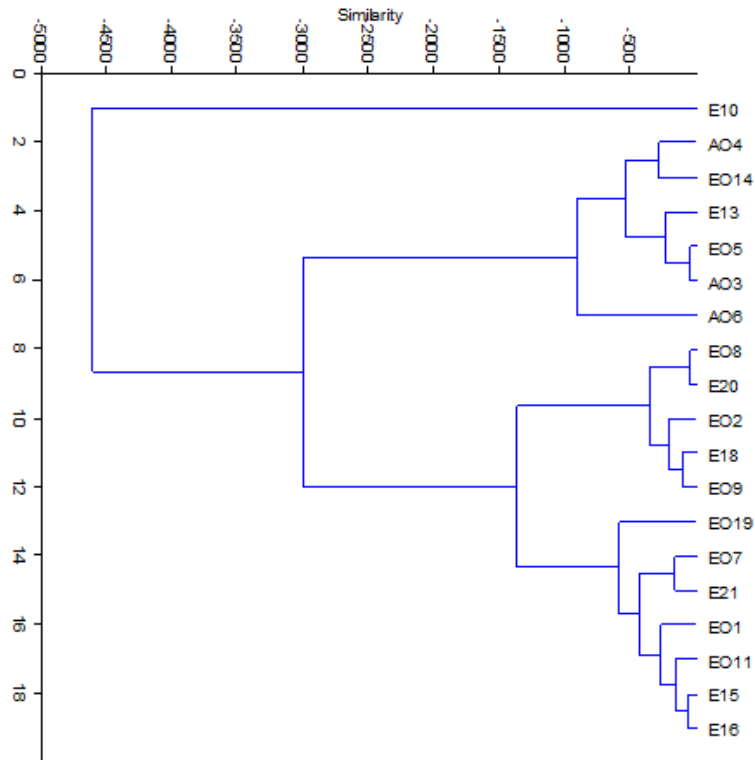


Figure 65: Représentation du dendrogramme des échantillons en fonction des variables des paramètres physico-chimique du sol.

Résultats et discussion

Le graphisme de la figure 64 ainsi que le dendrogramme de la figure 65 nous permettent de définir la répartition des échantillons en fonction des paramètres nutritionnels du fruit en 3 groupes, en fonction des régions et les résultats ont été détaillés dans les tableaux 50 et le tableau 51.

Tableau 50: Résultats du regroupement des variables des composantes du sol

G1	G2	G3
		SO4--
		MG++
	CE	K+
	MINERALISATION	CALC TOT
Calcaire actif	CA ++	K2O ASSIMILABLE
	CL-	MO
		HCO3-
		P2O5 ASSIMILABLE
		PH

Tableau 51: Résultats de l'ACP des variables et des échantillons des composants du sol

GROUPES	ECHANTILLONS	ZONES
1 Calcaire actif	E20	Ouargla
	E02	Dar el beida
	E08	Skikda
	E04	Alger
2 CE MINERALISATION CA ++ CL-	E01	Alger
	E14	Batna
	A03	Alger
	E05	Alger
	E21	Dar el beida
3: SO4-- ,MG++ , K+,CALC TOT K2O ASSIMILABLE,MO HCO3-,P2O5 ASSIMILABLE, PH	E13	Oran
	E07	Alger
	E10	Tizi ouzou
ENTRE 1 ET 3	E09	Skikda
	E06	Alger
	E11	Dar el beida
	E16	Tizi ouzou
	E19	Annaba
	E18	Tizi ouzou
	E15	Batna
	E17	Tizi ouzou
	E22	Tizi ouzou

Métabolite 3 En absence de calcaire

Pour les différentes Analyses en Composantes principales, le choix est basé sur l'inertie des axes et les plans qu'ils constituent, qui sont exprimés en pourcentage et valeurs propres totales (tableau52).

Tableau 52: Le choix des composantes principales

Axe 1	4,5919	35,32
Axe 2	2,85557	21,97

Le premier axe principal à une valeur propre égal à 4.591, il explique 35.32% de la variation totale. La seconde composante est égale à 2.855 et explique 21.97 % de la variance totale.

Les pourcentages de variation sont acceptables pour les deux premiers axes avec un cumule de 57.29%. Pour nos interprétations, nous allons nous limiter aux deux premiers axes Factoriels (F1, F2).

La contribution de chaque variable dans l'expression de la composante principale permet d'obtenir le rapport de corrélation entre la variable et l'axe factoriel pris en compte et ce rapport est important, lorsque la variable contribue à l'expression de l'axe.

Le tableau de la corrélation des variables aux principaux axes factoriels, montre que les variables sont mieux représentées avec l'axe1 (F1).

L'axe F1 est défini par la combinaison des variables (pH et minéralisation) est exprime une variabilité de 35.32% .

L'axe F2 exprime une variabilité de 21.97% et combine l'expression des variables (So4, Mg++, K+, Cl-)

Représentation graphique de l'ACP

Le plan F1xF2 des variables, cercle de corrélation issue de l'analyse, représente l'expression de deux gradients permettant de lire le plan F1xF2 (figure 66). Les résultats des moyennes et des erreurs standards sont regroupées dans le tableau 53

Tableau 53: Résultat des moyennes et des erreurs standards des résultats de la composition physico-chimique du sol en absence de calcaire

	CE	Ph	P205_ As	Calc_ T	MO	K2O_ As	Miné	Ca++	Mg++	K+	HCO3	Cl-	SO4--
Mean	0,54	8,192	1164,8	13,45	2,864	295,81	0,33947	2,389	2,9736	0,6336	2,5663	2,547	3,8978
Std. Err	0,073	0,101	244,08	1,262	0,411	51,928	0,04744	0,256	0,3409	0,1239	0,2138	0,231	0,6452

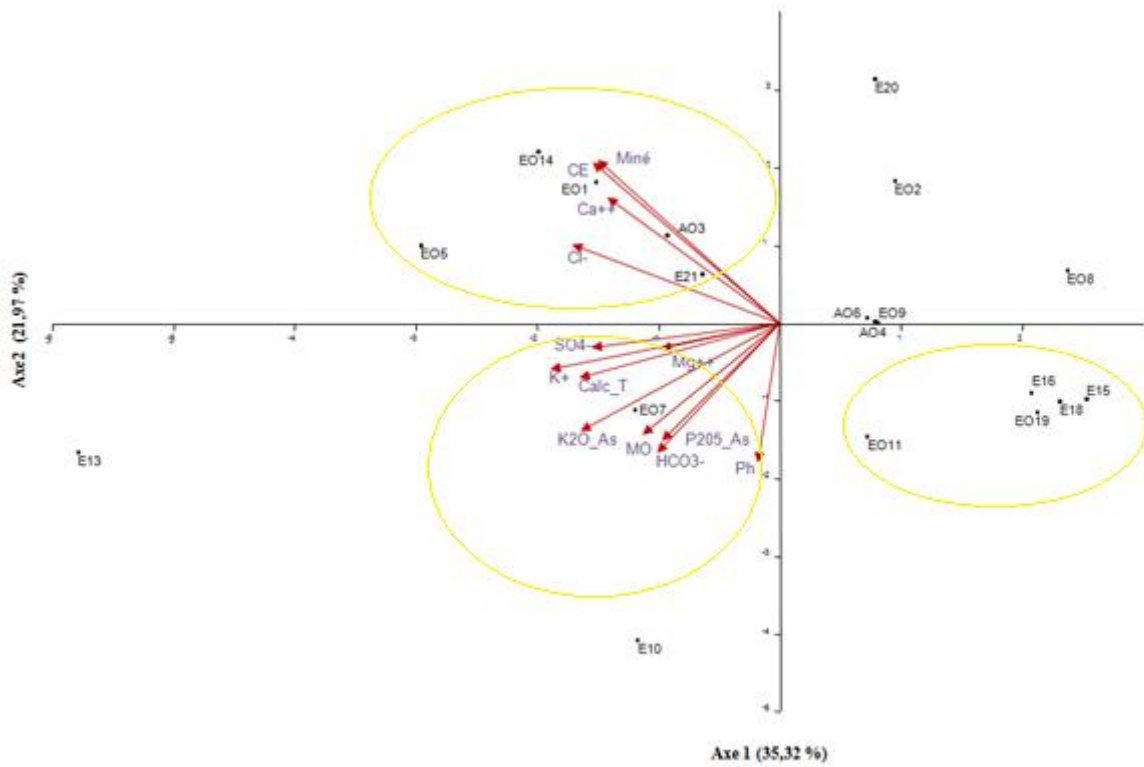


Figure 66: Représentation graphique de l'ACP; projection des variables des paramètres physico-chimique du sol sans le calcaire et des observations sur le plan F1 x F2

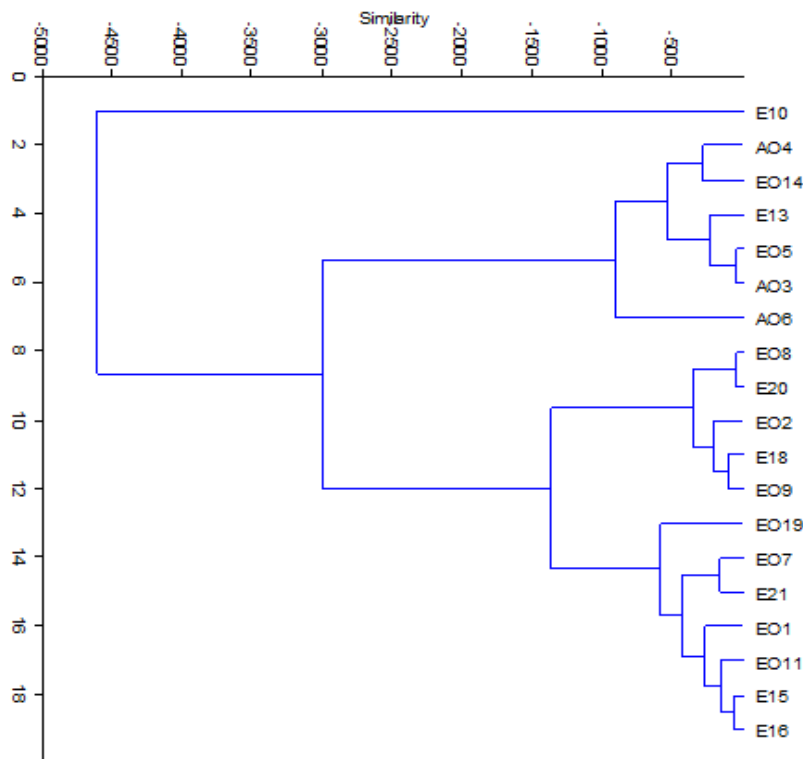


Figure 67: Représentation du dendrogramme des échantillons en fonction des variables des paramètres physico-chimique du sol sans calcaire.

Résultats et discussion

Le graphisme de la figure 66 ainsi que le dendrogramme de la figure 67, nous permettent de définir la répartition des échantillons en fonction des paramètres nutritionnels du fruit en 3 groupes, en fonction des régions et les résultats ont été résumés dans le tableau 54 et le tableau 55.

La répartition est aussi similaire à la répartition précédente, donc d'après les résultats, le paramètre calcaire actif seul n'a pas une incidence directe sur la variabilité des échantillons, mais c'est plus une symbiose entre les différents paramètres physico-chimiques qui se reflète par une répartition variée.

Tableau 54: Résultats du regroupement des variables des composantes du sol en absence de calcaire

G1	G2
	SO4--
	K+
	MG++
Minéralisation	CALC TOTAL
CE	K2O ASSIMILABLE
CA++	MO
CL-	P2O5 ASSIMILABLE
	HCO3-
	Ph

Tableau 55: Résultats de l'ACP des variables et des échantillons des composantes du sol en absence de calcaire.

GROUPES	ECHANTILLONS	ZONES
1	14	Batna
Minéralisation	01	Alger
CE	03	Alger
CA++	21	Dar el beida
CL-	05	Alger
2	07	Alger
SO4-- ,MG++ , K+,CALC	13	Oran
TOT	10	Tizi ousou
K2O ASSIMILABLE,MO		
HCO3-,P2O5		
ASSIMILABLE, PH		
	20	Ouargla
AXE 1	02	Dar el beida
(sans	08	Skikda
Mine, Ce, Ca, cl)	06	Alger
	09	Skikda
	04	Alger
	16	Tizi ousou
AXE 2	15	Batna
(sans	18	Tizi ousou
So4, Mg, K, Calc tot, K2o,	19	Annaba
Hco3, P2o5 et pH)	11	Dar el beida
	17	Tizi ousou
	22	Tizi ousou

On remarque que se sont établis lors de l'ACP deux grands groupes, le premier regroupaient les composant de : Ca++ , Cl-- ainsi que la Conductivité électrique (CE) et le taux de minéralisation et ces paramètres influençaient principalement un grands nombre d'échantillons provenant des régions d'Alger , Dar el Beida ainsi que Skikda, en plus des échantillons de Ouargla et de Batna

Alors que le deuxième groupe qui comprends les paramètres suivants : SO_4^{--} , Mg^{++} , K^+ , $CALC$ tot K_2O assimilable, MO , HCO_3^- , P_2O_5 assimilable et le pH et montre donc que ces éléments du sols ont tendance à influencer principalement les échantillons issus des régions de Tizi ouzou, de Annaba, d'Oran, de Batna ainsi que de Dar el Beida.

Tous les composants du sol jouent un rôle majeur dans la qualité et la valeur nutritionnelle du fruit et une synergie entre les différents paramètres physicochimiques permettrait d'accroître la qualité du fruit, par exemple si l'on s'intéresse à la matière organique du sol, on note que cette dernière est impliquée dans de nombreux processus aux conséquences agronomiques et environnementales non négligeables, étant donné qu'elle influence de manière indirecte sur le stockage du carbone. [17]

9. Les interprétations:

9.1 Interprétation de l'analyse biochimique du fruit

On remarque suite au traitement de données des différents essais pour chaque paramètre des échantillons, que tous les résultats sont inférieurs à 15% ce qui représente un taux acceptable pour la validation des tests statistiques à partir d'une matrice de données regroupant les moyennes étudiées. De ces résultats on peut déduire en comparant les différentes régions et différents échantillons que le taux de sucre augmente dans certaines régions, ce qui se traduit par un inversement proportionnel au taux d'acidité et de vitamine C présent dans le fruit, donc plus un fruit contient un taux d'acidité titrable et de vitamine C élevés, plus il contient une quantité importante d'antioxydants.

D'après l'étude de çam et al. (2009) [18] sur huit variétés de grenades Turques, les variétés sucrées contiennent moins de Polyphénols totaux que ceux des variétés acidulées et cela rejoint les résultats obtenus lors de notre travail.

D'après l'étude de Hmid [34] qui compare ses résultats sur les antioxydants contenus dans les fruits qu'il a étudié avec ceux des fruits de l'étude élaborée par Gil et al (2000) [27], il en résulte que le taux des polyphénols est plus élevé chez les fruits de l'étude de Hmid [34] par rapport à celui de l'étude de Gil, et ceci pourrait être dû à l'influence du climat qui est plus aride au niveau des échantillons de Hmid, ainsi que l'effet du stress hydrique, mais notre étude ne s'accorde pas avec l'hypothèse émise par Hmid étant donné que lors de nos résultats, la zone arides notamment Ouargla avait des taux d'antioxydants plus faibles par rapport aux échantillons des zones du nord dont Alger.

Donc il en ressort qu'il existe une relation proportionnelle entre le taux d'acidité ainsi que le taux d'antioxydants (polyphénol et flavonoïde) et qui est inversement proportionnelle avec la teneur en sucre du fruit du grenadier.

Sachant qu'un taux de Polyphénol élevé est bénéfique pour la santé, mais une quantité trop abondante dans le fruit n'est pas recommandé, car le fruit après transformation et commercialisation, possède des capacités très astringente ce qui est qualifié d'effet indésirable et non conseillé donc à la consommation [47]

En ce qui concerne la quantité de protéine et de lipide, elle est toujours élevée au niveau de la région d'Annaba, on remarque que les profils les plus opposés sont les fruits issus de la région d'Alger qui est une zone au climat humide et tempéré, et de la région de Ouargla qui appartient à une région subaride (les portes du désert), d'après nos résultats on constate que la valeur énergétique est plus élevée au niveau des fruits de la région de Ouargla, comparé aux taux faibles de la valeur énergétique sur les fruits de la région d'Alger, ce qui peut se traduire par le fait qu'on ne peut négliger l'hypothèse que la variabilité des variétés peut être responsable de ce résultat, mais aussi par le fait que la qualité du fruit est très sensible aux variations climatiques, ce qui rejoint le fait que l'arbre de grenadier est très sensible aux taux de précipitations rendant donc sa culture délicate.

9.2 Interprétation de l'analyse des antioxydants présents dans les échantillons de grenades

Des résultats obtenus par les analyses du fruit au laboratoire montrent que le graphisme du taux de polyphénol possède une courbe similaire au graphisme du taux de flavonoïde, car il présente une hausse considérable au niveau de la région d'Alger et un taux faible au niveau des autres régions.

Les flavonoïdes appartiennent au groupe des polyphénols, donc cette représentation graphique était fortement attendue.

Si on compare les graphismes de l'analyse chimique des fruits, on en déduit que le taux d'antioxydants (polyphénols et flavonoïdes) mesurés sur les grenades des différentes régions évoluent comme le taux de vitamine C et d'acidité titrable et donc à l'inverse du taux de glucide: nous pouvons en conclure donc que plus un fruit est riche en vitamine C et présente un goût acide et moins sucré, plus ce fruit du grenadier est riche en antioxydants.

9.3 Interprétation de l'analyse des composants chimiques du sol

D'après les résultats et les graphismes obtenus précédemment, on constate qu'un pH neutre voir alcalin est une condition indispensable pour que la culture de grenadier permettrait l'obtention des fruits.

Les différentes analyses du sol, montrent une variation presque opposée entre la composition du sol des régions côtières et la composition des sols de la région sur-aride, c'est à dire Ouargla.

On remarque donc que la région de Ouargla possède un sol qui est pauvre en P_2O_4 , calcaire total, matière organique, Mg^{++} , K_2Cl assimilable, K^+ , HCO_3 et Cl^- , mais au contraire, présente une très bonne conductivité électrique permettant, ainsi qu'un taux très élevé de calcaire actif contrairement au calcaire total, étant donné que le calcaire actif est celui utilisable par les végétaux.

Dans cette étude, les grenadiers de la région subaride sont caractérisés par un sol riche en minéralisation et Ca^{++} .

Ces quelques composants chimiques du sol ont suffi à conféré aux grenades issu de la région de Ouargla une très bonne valeur énergétique mais pas forcément le meilleur taux d'antioxydant, qui dépend également des composants chimiques du fruit.

9.4 Interprétation de l'analyse des facteurs climatiques

D'après les résultats obtenus concernant les données météorologiques, on constate que durant la période de récolte: la région d'Oran présentait un meilleur profil des conditions climatiques (qualifié d'optimal) par rapport aux autres zones d'échantillonnages : c'est à dire: une très bonne insolation et par conséquent un bon taux de rayonnement global ainsi qu'un très bon bilan hydrique, ce qui a probablement contribué également à l'obtention de fruits de grenadier avec des valeurs énergétique assez élevés.

9.5 Interprétation de l'étude statistique

D'après les résultats de l'étude statistique obtenu par le logiciel Past; on en déduit que ces résultats consolident les interprétation précédentes; au niveau du métabolisme 1 et 2, qui regroupe l'analyse statistique des composant chimique et des taux d'antioxydants du fruit; on en déduit que la valeur énergétique dépend en grande partie du taux de glucide et de lipide, et que la vitamine C et l'acidité titrable, évoluent ensemble et en même temps que le taux d'antioxydants (Polyphénols et flavonoïdes).

Il en résulte que parmi les composants du sol, les principaux paramètres pour une meilleure valeur énergétique sont le calcaire actif, la conductivité électrique, la minéralisation, le Ca^{++} , le Cl^- .

En général, les besoins en composés chimiques des grenades sont assez faibles et on observe, encore une fois, que les grenades de haute qualité nutritionnelles sont produites en présence de taux modérée en matière organique et ressources potassiques. En revanche, les grenades de hautes valeurs en antioxydants sont produites en présence de taux modérée en matière organique et en calcaire totale. Ces caractéristiques de sol induisent une augmentation de la qualité des grenades. Ces résultats nous ont permis d'avancer l'hypothèse, mettant en lumière l'action des paramètres du sol, qui sont le taux de calcaire actif où de nombreuses études montraient que principalement le calcaire actif agissait directement sur 3 éléments : manganèse, calcium et l'azote [42]. La composition physicochimique du grenadier varie selon les espèces et au sein d'une même espèce. Elle dépend des conditions de culture, de la qualité du sol, du climat, des irrigations,...) et de la période de récolte (précoce ou tardive) [42].

Nous avons mis en évidence une augmentation des antioxydants dans les fruits de grenades des parcelles d'Alger, ce qui indique que l'activité antioxydante des grenades est sensible aux conditions pédoclimatiques des zones de culture. Nous avons suggéré que cela pouvait s'expliquer par des différences de matière organique et de composés potassiques, mais cela nécessite d'être vérifié. Comme ce type d'effet a été observé dans d'autres études suite à la modification de la composition en métabolites primaires et secondaires des plantes, il serait également intéressant de le tester pour les antioxydants. Les polyphénols qui sont des molécules organiques hydrosolubles, retrouvées dans le règne végétal, dont le métabolisme est exclusif chez les bactéries, champignons et plantes [61] ainsi que les flavonoïdes que l'on retrouve uniquement dans les fruits et légumes sous forme glycosylée, ce qui rend la molécule plus hydrosoluble. Les sucres couramment rattachés aux flavonoïdes sont le glucose, le galactose, le rhamnose, la xylose, l'arabinose et des dissacharides comme la rutinose [5] ces taux faible de calcaire actif et de matière organique impacteraient également sur les paramètres de la grenade, en améliorant le taux de Vitamine C et une meilleure acidité titrable c'est la somme des acides minéraux et organiques libres dans le jus de fruits. L'acidité titrable c'est l'acide citrique dans le cas des jus [38] qui consiste en la mesure des ions H^+ disponibles dans le milieu, qu'il soit dissocié ou non (Acidité naturelle + acidité développée) [54], reflétant ainsi les composés acides du milieu au niveau des échantillons de grenadier étudiés. Il nous semble que ces paramètres de fruit présentent une corrélation similaire, et augmente de manière proportionnelle comme le démontre également d'autres études, à savoir, celle de

Ramezani et *al.* [54], ont signalé que plus un fruit contient un taux d'acidité titrable et de vitamine C élevé, plus il contient une quantité importante d'antioxydants. D'après l'étude de Çam [18], sur huit variétés de grenades Turques, les variétés sucrées contiennent moins de Polyphénols totaux que ceux des variétés acidulées et cela rejoint les résultats obtenus lors de ce travail. D'après les travaux de Hmid [34], et de Gil [27], portant sur la caractérisation physicochimique et biochimique du jus des grenades, ils concluent que la forte accumulation des polyphénols est fortement corrélée à l'aridité du climat ainsi qu'au stress hydrique. Les conclusions, s'accordent avec les conditions climatiques de l'algérois.

Donc il en ressort qu'il existe une relation proportionnelle entre le taux d'acidité ainsi que le taux d'antioxydants (Polyphénols et flavonoïdes) et qui est inversement proportionnelle avec la teneur en sucre du fruit du grenadier. Mena et *al.* [47], stipulent qu'un taux de polyphénols élevé est bénéfique pour la santé, mais une quantité trop abondante dans le fruit n'est pas recommandé, car le fruit après transformation et commercialisation, possède des capacités très astringente ce qui est qualifié d'effet indésirable et non conseillé à la consommation.

Conclusion

Conclusion

Lors de cette étude, il n'a pas été question de comparer les variétés entre-elles, mais de trouver les dénominateurs communs permettant une meilleure synergie entre les facteurs climatiques issus de différentes régions d'échantillonnage, ainsi que la composition du sol, pour une combinaison optimale permettant d'obtenir, la meilleure qualité nutritionnelle, ou valeur énergétique. Pour cela les 21 échantillons de grenades, accompagnés de leurs échantillons de terre, ont été traités au laboratoire pour déterminer les composants chimiques des différents sols étudiés et l'analyse chimique du fruit de grenadier et le taux d'antioxydants.

Une meilleure connaissance de ce fruit, permettrait une culture plus productive et optimale, et rendrait donc le grenadier exploitable dans plusieurs domaines, notamment pour lutter contre de nombreuses maladies à titre préventif, tel que les cancers ou pour une meilleure alimentation équilibrée en conservant la plus élevée valeur énergétique.

Donc, il en résulte de cette étude, que pour une bonne qualité de fruit du grenadier, il est fortement recommandé d'utiliser un sol à pH neutre à alcalin ainsi que qu'un taux élevé de conductivité électrique, de calcaire actif, de minéralisation et de Ca⁺⁺ en plus d'une bonne exposition solaire (insolation et rayonnement global) et un bon bilan hydrique.

Ces conditions optimales permettraient d'avoir des fruits à valeur énergétique supérieur

En parallèle, la grenade acide avec un taux de vitamine C élevé présenteraient un taux d'antioxydant supérieur, il est par contre recommandé de ne pas dépasser les valeurs tolérées, afin que ce fruit ne devienne pas toxique et s'y référer par conséquent au codex alimentarius qui fixe les normes internationales à respecter. Il est à noter que toutes les grenades utilisées dans cette étude sont comestibles et ont été récoltées chez l'habitant et n'ont pas subi de traitement aux pesticides ou autres agents chimiques.

Ce travail peut être considéré comme une ébauche pour d'autres recherches futures, car cela ouvre une perspective de travaux plus pointus permettant donc d'effectuer le même travail en comparant cette fois, les mêmes variétés après identification par des analyses moléculaires qui élimineraient donc l'hypothèses des caractéristiques spécifiques à chaque variété, issus donc de zone d'échantillonnage à large variation climatiques, afin de définir avec précision l'impact des facteurs climatiques et les composants du sol influençant la valeur nutritionnel et le taux d'antioxydant présent dans le fruit du grenadier : *Punica granatum*.

Bibliographie

Références bibliographiques

- [1]. **Adesegun S.A., Fajana A., Orabueze C.I. & Coker H.A.B. (2007).** Evaluation of antioxidant properties of *Phaulopsis fascisepala* C B Cl (Acanthaceae). *Evidence Based Complementary and Alternative Medicine*. 6 (2): 227-231.
- [2]. **Ammar M., Barbouche N. et Ben Hamouda M. (1995).** Action des extraits décomposés des feuilles de *Cestrum parqui* et d'*Olea europea* sur la longévité et la croissance du criquet *Schistocerca gregaria*. *Med. Fac. Landbouw. Univ. Gent* 60/3a, pp: 831–835.
- [3]. **Anonyme (2003).** Méthode d'analyse : Détermination du pH à l'eau dans les sols agricoles. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Canada, 8 p.
- [4]. **Anonyme (2012).** Protocole d'échantillonnage et d'analyse dans le cadre du Règlement de l'Ontario 267/03 pris en application de la Loi de 2002 sur la gestion des éléments nutritifs. Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales, Canada, 56 p.
- [5]. **Anonyme (2018).** Dosage de l'acidité et de la matière sèche d'un jus d'agrumes. *Institut Agronomique Néo-Caledonien*. P1
- [6]. **Ayoola G.A., Ipav S.S., Solidiya M.O., Adepoju-Bello A.A., Coker H.A.B. & Odugbemi T.O. (2008).** Phytochemical screening and free radical scavenging activities of the fruits and leaves of *Allanblackia floribunda* Oliv (Guttiferae). *International Journal of Health Research*. 1 (2): 81-93.
- [7]. **Baize D., Jabiol. B.(2011).** Guide pour la description des sols. *édition Quae*. 87p.
- [8]. **Bärtels, A. (1998).** Guide des plantes du bassin méditerranéen. *Editions Ulmer*. 352p.
- [9]. **Ben abdennebi, M. A. (2012).** Le grenadier tunisien (*Punica granatum*) stimule le transport de glucose dans les cellules musculaires C2C12 via la voie insulino-dépendante de l'Akt et la voie insulino-indépendante de l'AMPK, *Maîtrise en pharmacologie*, 24p.
- [10]. **Betioui, m., et all. (2017).** Etude de la possibilité d'amélioration de la culture et de la production du Grenadier commun, *Punica granatum* L. dans la région de Tlemcen. Master Université de Tlemcen. 9p.
- [11]. **Bezanger-Beauquesne, L., Pinkas M., et al. (1990).** Plantes médicinales des régions tempérées. *Editions Maloine*. 193p.
- [12]. **Boukerouis, D. (2008).** Caractérisation de l'activité antioxydante de *Pistacia lentiscus* et *fraxinus angustifolia*. *Thèse Université de Béjaia*.
- [13]. **Bradford M. (1976).** A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. *Anal. Biochem*. 72:248-254.

Références bibliographiques

- [14]. Bruneton, J. (1993). Composés : Shikimate-acétates. *Pharmacognosie « Phytochimie, Plantes médicinales »*. 3ème ed., *Technique et documentation Lavoisier*. 199-383.
- [15]. Bruneton, J. (1999). *Pharmacognosie. Phytochimie. Plantes médicinales. 3ème édition. Technique et documentation Lavoisier*. 286-347. 860p.
- [16]. Cadet, A. (2005). Le cépage *Vitis vinifera* L. cv. fer servadou : étude de la nutrition minérale et des relations cépage, terroir, qualité du vin. *Thèse de Doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse*. 316 p.
- [17]. Calvet, R., Chenu, C., Houot, S. (2015). Les matières organiques des sols. *édition France agricole (2)*. 150p.
- [18]. Cam, M., Hisil, Y., Durmaz, G. (2009). Classification of eight pomegranate juices based on antioxidant capacity measured by four methods. *Food Chem.* 112. 721-726.
- [19]. Cazin, F.J. (1868). *Traité pratique et raisonné des plantes médicinales indigènes et acclimatées. Editions de l'envol*. 497-501.
- [20]. Codex (2013): norme codex pour la grenade (CODEX STAN 310-2013) *odex stan 310*. 1-5.
- [21]. Courchet, L.D.J. (1897). *Traité de botanique comprenant l'anatomie et la physiologie végétales et les familles naturelles, certificat d'études physiques, chimiques et naturelles des étudiants en médecine et en pharmacie. Editions Baillière*. 1019-1023.
- [22]. Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Pebers, P.A & Smith F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal Chem*, 28:350-356
- [23]. Edeas, M. (2007). Les polyphénols et les polyphénols de thé. *Phytothérapie. édition 5*. 264-270.
- [24]. Fuhrman, B., Aviram, M. (2006). Protection against Cardiovascular Diseases. In : *Pomegranates Ancient Roots to Modern Medicine*. Seeram N. P., Risa N. S., Heber D. *Medicine CRC Press Taylor & Francis Group Medicinal and aromatic plants-industrial profiles*. 263p.
- [25]. Garnier, G., Bezanger-Beauquesne, L., et al. (1961). Ressources médicinales de la flore française. *Editions Vigot Frères*. Tome II. 838-842.
- [26]. Gélébart B. (2016). Optimisation de l'extraction, en réacteur « batch », de biomasse énergétique à l'aide d'émulsions ultrasoniques de solvants verts. *Mémoire de maîtrise en génie chimique, Université de Sherbrooke (Québec, Canada)*, 138 p.

- [27]. **Gil, M. I., Tomas-Barberan, F.A., Hess-Pierce, B., Holcroft, D.M., Kader, A.A. (2000).** Antioxidant capacity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing. *Agric. Food Chem.* 48. 4581-4589.
- [28]. **Godet, J.D.(1991).** Arbres et arbustes aux quatre saisons. Les guides pratiques du naturaliste. *Editions Delachaux et Niestlé.* 96-170.
- [29]. **Guibourt, N.J.B.G. (1850).** Histoires naturelles des drogues simples ou cours d'histoire naturelle. *école de pharmacie de Paris. Editions J.B. Baillière, Paris.* Tome III. 257-259.
- [30]. **Guignard, J. L. (1996).** Les composés phénoliques. Biochimie végétale. *Edition Masson, Paris.* 167-231.
- [31]. **Hammer Ø., Harper D.A.T. and Ryan P.D. (2001).** PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica review.* 3-8.
- [32]. **Havsteen, B. H. (2002).** The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacology & Therapeutics.* 96. 67– 202.
- [33]. **Hennebelle, T., Sahpaz, S. et Bailleul, F. (2004).** Polyphénols végétaux, sources, utilisations et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif. *Phytothérapie, édition1.* 3-6.
- [34]. **Hmid, I. (2014).** Contribution à la valorisation alimentaire de la grenade marocaine (*punica granatum l.*) : caractérisation physicochimique, biochimique et stabilité de leur jus frais. *thèse de doctorat.* Alimentation et Nutrition. Université d'Angers., 112p,113p, 180 p.
- [35]. **Isabelle, F. (2002).** Le Grenadier. *Faculté des Sciences Pharmaceutiques de Toulouse .* Livre Étude botanique. *SIA Lavaur.* 5p.
- [36]. **Jolliffe, I.T. (2002).** Principal Component Analysis. *Springer-Verlag, 2nd edition.* 489 p.
- [37]. **Jurenka, J.S. (2008).** Therapeutic applications of pomegranate (*Punica granatum L.*). *Altern Med Rev,* 13, 44-128.
- [38]. **kähkönen M., Hopia A., Vuorela H., Rauha J., Pihlaja K., Kujala T. & Heinonen M. (1999).** Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *J. Agric. Food chem.,* 47(10) :3954-3962.
- [39]. **Kim, N. D., Mehta, R., Yu W., Neeman, I., Livney, T., Amichay, A., Poirier, D., Nicholls, P., Kirby, A., Jiang, W., Mansel, R., Ramachandran, C., Rabi, T., Kaplan, B. et Lansky, E. (2002).** Chemopreventive and adjuvant therapeutic potential of pomegranate (*Punica granatum*) for human breast cancer. *Breast Cancer Research and Treatment.* 71. 203– 217.

Références bibliographiques

- [40]. **Kolthoff I. M. & Sandell E. B., (1952).** Textbook of quantitative inorganic analysis. Bulletin de Minéralogie, 77-7-9 p. 1287
- [41]. **Lapornik B., Prosěk M., Wondra A.G. (2005).** Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time. *Journal of Food Engineering*. 71. 214-222.
- [42]. **Le Tacon F. (1978).** La présence de calcaire dans le sol. Influence sur le comportement de l'Epicéa commun (*Picea excelsa* Link.) et du Pin noir d'Autriche (*Pinus Nigra nigricans* Host). *Ann. Sei. forest.*, 35 (2), 165-174.
- [43]. **Macheix, J. J., Fleuriet, A. et Jay-Allemand, C.H. (2005).** Les composés phénoliques des végétaux. *Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne*. 190p 625-628.
- [44]. **Mars, M. (1995).** La culture du grenadier (*Punica granatum* L.) et du figuier (*Ficus carica* L.) en Tunisie. *CIHEAM. Options Méditerranéennes*, 85-95.
- [45]. **Mars, M., Marrakchi, M. (1999).** Diversity of pomegranate (*Punica granatum* L.) germplasm in Tunisia. *Genet Resour Crop Ev.* 46. 461-467.
- [46]. **Martin, S., Andriantsitohaina, R. (2002).** Mécanismes de la protection cardiaque et vasculaire des Polyphénols au niveau de l'endothélium. *Annales de cardiologie et d'angéiologie. édition 51.* 304–315.
- [47]. **Mena, P., Garcia-Viguera, C., Navarro-Rico, J., Moreno, D., Bartual, J., Saura, D., Marti, N. (2011).** Phytochemical characterisation for industrial use of pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars grown in Spain. *Sci Food Agric.* 91. 1893–1906.
- [48]. **Morris J.R., Cawthon D.L. & Buescher R.W. (1979).** Effects of acetaldehyde on post harvest quality of mechanically harvested strawberries for processing. *J. Amer Soc Hort Sci.* 104:262-264.
- [49]. **Naczki M. et Shahidi F. (2006).** Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, édition 41.* 1523-1542.
- [50]. **NF ISO 10693 (1995).** Qualité du sol - Détermination de la teneur en carbonate – Méthode volumétrique
- [51]. **Petard J. (1993).** *Les méthodes d'analyse. Tome 1 Analyses de sols.* Ed. ORSTOM, Nouméa, 200 p.
- [52]. **Petti, S., Scully C. (2009).** Polyphenols, oral health and disease. *Journal of dentistry* 37. 413–423.

- [53]. **Planchon, G., Collin E. (1875).** Traité pratique de la détermination des drogues simples d'origine végétale. Librairie F. Savy Tome I. 235-236 ; 307-308.
- [54]. **Ramezani A., Rahemi M., Maftoun M., Kholdebarin B., Eshghi S., Reza Safizadeh M. & Tavallali V. (2010).** La spermidine et le chlorure de calcium atténuent les dommages dus au froid pour des grenades stockées à long terme. *Fruits*, 65(3) : 169-178. <https://doi.org/10.1051/fruits/2010011>
- [55]. **Ranade, S.A., Rana, T.S., Narzary D. (2009).** SPAR profiles and genetic diversity amongst pomegranate (*Punica granatum L.*). *genotypes. Physiol. Mol. Biol. Plants*, 15. 61-70.
- [56]. **Ribereau–Gayon, P., Gautheret R.-J. (1986).** Les composés phénoliques des végétaux. *édition Dunod, Paris*. 273p.
- [57]. **Sambamoorthi, N. (2007).** Hierarchical Cluster Analysis- Some Basics and Algorithms. *In CRM portals Inc. USA*.
- [58]. **Soxhlet F. (1879).** Die gewichtsanalytische bestimmung des milchfettes. *Dingler's Polytech. J*, 232:461–465
- [59]. **Spichiger, R.-E., Savolainen V., et al. (2004).** Botanique systématique des plantes à fleurs. Une approche phylogénétique nouvelle des Angiospermes des régions tempérées et tropicales. *Editions Presses polytechniques et universitaires romandes. Troisième édition*. 413p.
- [60]. **Syed, D. N., Afaq, F. et Mukhtar, H. (2007).** Pomegranate derived products for cancer chemoprevention. *Seminars in Cancer Biology*, 17. 377–385.
- [61]. **Wainsten, J. (2009).** *Larousse Médical*. Ed. Larousse, Paris. 1113 p.
- [62]. **Wald, E. (2009).** Le grenadier (*Punica granatum*): Plante historique et évolutions thérapeutiques récentes . *Université HENRI POINCARÉ - thèse de doctorat*. Nancy. 20p.
- [63]. **Ziadi, N., & Sen Tran, T. (2006).** Lime Requirement, *In soil sampling and methods of analysis, Deuxième édition, Taylor & Francis Group*. 155 – 160.
- [a] <http://www.andi.dz/index.php/fr/>
- [b] <http://artbonsai.free.fr/forum/grenadier/DSC117.jpg>
- [c] <http://www.bonsai-ka.com/Grenadier+punica+granatum+bonsai+50cm>
- [d] http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Punica_granatum_flowerdiagram.png

[e]

<http://cpe0013211b4c6dcm0014e88ee7a4.cpe.net.cable.rogers.com/cnf/servingSizeDispatch.do>

[f]

http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706f/x6706f02.htm)

[g] <http://www.floridata.com/wallpaper/jpg/PomegranateFlwrs800.jpg>

[h] http://fr.wikipedia.org/wiki/Guerre_de_Troie

[i] http://fr.wikipedia.org/wiki/Punica_granatum

[j] <http://www.jus-grenade.com>

[k] <http://www.lano.asso.fr>

[l] <http://objectief.be/Granaatappel-Punica-granatum.html>

[m] http://www.prevention-tabac.com/organisme-tabac_cancer.php

[n] http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/44/Grain_grenade.jpg/300px-Grain_grenade.jpg

[o] http://www.marche.fr/petite_annonce_jardin-nature-plantes-punica-granatumgrenadier-ref1231576-dep74.html#

H - <http://www.medisite.fr/medisite/Grenade,3974>

[p] <http://www.jus-grenade.com>

Annexe

Annexe 1:

La composition en antioxydants des grenades

Chez les végétaux comestibles, nous comptons plusieurs centaines de molécules antioxydantes.

Parmi les plus connus de ces antioxydants naturels, nous trouvons la vitamine C, la vitamine E, les caroténoïdes (β -carotène et lycopène) et les polyphénols (tanins, flavonoïdes, anthocyanes). Les grenades sont parmi les fruits les plus riches en vitamine C et en composés phénoliques et surtout en anthocyanines et acides phénoliques (El- Nemr et al., 1992).

Pour qu'un composé soit défini comme antioxydant, il doit satisfaire deux conditions :

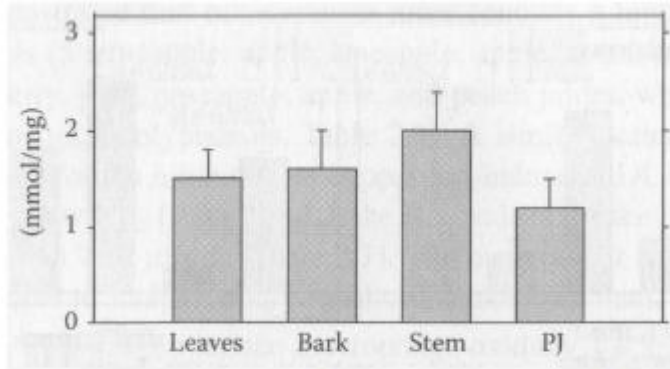
1. Présent à faible concentration par rapport au substrat susceptible à oxyder, il doit retarder ou empêcher l'oxydation causée par des radicaux libres.
2. Les radicaux libres neutralisés par ce composé doivent former une entité stable, afin d'interrompre la chaîne des réactions d'oxydation.

La composition des différentes parties du grenadier a montré l'existence de plusieurs types de polyphénols ayant des propriétés antioxydantes très importantes à savoir les tanins que l'on trouve en concentration très élevée dans les tiges et l'écorce du grenadier (Seeram et al., 2006).

Le jus de grenade est composé de 85,4% d'eau, 10,6% Sucres totaux, 1,4% de pectine, 0,2 à 1,0% de polyphénol.

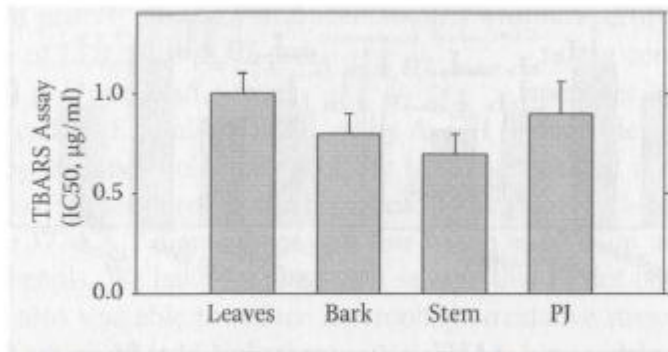
Les anthocyanines et les flavonoïdes, fournissent au jus de grenade sa couleur brillante et sont aussi de puissants antioxydants. Parmi les anthocyanines on peut citer la delphinidine, la cyanidine, la pelargonidine.

Des sucres simples tel que le glucose, le fructose ou des disaccharides tq le saccharose sont présents dans le jus ainsi que des acides organiques comme l'acide citrique, l'acide malique ou encore l'acide ascorbique. On retrouve aussi de l'acide gallique, l'acide ellagique et de l'acide quinique dans le jus, ainsi que des acides aminés tel que Proline, Valine. (PRAKASH C ; PRAKASH I. 2011)



Concentration totale en tanins (en mmol/mg) d'extraits éthanoliques de feuilles (leaves), écorce (bark), tige (stem) et jus de fruits entiers (PJ = Pomegranate Juice) du grenadier.

(SEERAM N., SCHULMAN R., *et al.* 2006)



Concentration en polyphénols (en µg/ml) permettant d'inhiber 50% de peroxydation lipidique au moyen d'extraits éthanoliques de feuilles (leaves), écorce (bark), tige (stem) et jus de fruits entiers (PJ = Pomegranate Juice) du grenadier.

(SEERAM N., SCHULMAN R., *et al.* 2006)

Tableau comparaison entre les composition en polyphenols et concentration minimale inhibant l'oxydation des LDL entre les grenades et d'autres fruits

Jus de fruit concentré	Concentration en polyphénols (mmol/L) (1)	Concentration minimale inhibant 50% d'oxydation des LDL (µL/mL) (2)	Capacité à bloquer les radicaux libres (% de réduction) (3)
Grenade (Pomegranate)	5,0	0,06	95
Prune rouge (Red plum)	4,5	0,11	80
Grappe de raisin (Grape)	3,3	0,70	47
Canneberge (Cranberry)	2,5	1,00	47
Kiwi (Kiwi)	2,2	0,33	70
Orange (Orange)	1,6	1,60	11
Pamplemousse (Grapefruit)	1,5	1,40	16
Pomme (Apple)	1,4	1,20	55
Ananas (Pineapple)	1,1	1,00	27
Poire (Pear)	1,1	7,50	5
Pêche (Peach)	1,0	2,25	30

Comparaison entre le jus de grenade et le jus d'autres fruits : concentration en polyphénols et activité antioxydante.

(SEERAM N., SCHULMAN R., *et al.* 2006)

PRAKASH C ; PRAKASH I. - Bioactive chemical constituents from pomegranate (*Punicagranatum*) juice, seed and peel-A Review - . *IJRCE I.* 2011.

El-Nemr, S. E., Ismail, I. A., & Ragab, M. (1992). The chemical composition of juice and seeds of pomegranate fruits. *Fluessiges-obst*.59(11). *Fruit processing*, 2(11), 162–164.

Seeram, N.P., Adams, L.S., Henning, S.M., Niu, Y., Zhang, Y., Nair, M.G., Heber, D., 2005. In vitro antiproliferative, apoptotic and antioxidant activities of punicalagin, ellagic acid and a total pomegranate tannin extract are enhanced in combination with other polyphenols as found in pomegranate juice. *J. Nutr. Biochem.* 16, 360–367.

SEERAM N., SCHULMAN R., *et al.* meggranates. Ancient roots to modern medicine. Editions Taylor & Francis. 2006. 244 pages.

Annexe II:

Méthode analyse du sol

-Détermination de la teneur en chlorures (Cl⁻) : La teneur en chlorures des échantillons est déterminée par la méthode de Mohr. Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent (AgNO₃) en présence d'un indicateur coloré, le chromate de potassium (K₂CrO₄). La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent. La quantification des ions chlorures est assurée par la détermination du volume d'équivalence V_{equ} , conditionné par la détermination du volume d'équivalence réel ou corrigé en faisant soustraire le volume de correction pour obtenir le volume d'équivalence corrigé $V_{\text{equ_Corr}}$ [11].

-Détermination de la teneur en hydrogencarbonates (HCO₃⁻) : La détermination des carbonates et bicarbonates est réalisée par titrimétrie par l'acide sulfurique 0.02 N, en présence de la phénolphtaléine et de méthyle orange comme indicateurs colorés[12].

-Détermination de la Minéralisation : Une prise d'essai de 1 g (à ± 0,2 mg) de sol broyée et tamisée à 0,2 mm et séchée à l'air, est introduite dans un matras. Après chauffage, 2 g de catalyseur puis 7,5 ml de mélange sulfosalicylique et 3 billes de verre sont introduit dans le matras. Le bloc a été maintenu à douce ébullition pendant 1 h 30. Après distillation, le distillat est recueilli dans un bécher de 250 ml contenant 20 ml d'acide borique. Une série de titrages avec l'acide sulfurique 0,025 mol l⁻¹ ou N/20 et sous la dépendance d'une solution de carbonate de sodium N/20 a été préconisé. Le Ca⁺⁺ et le Mg⁺⁺ peuvent être bloqués par K⁺⁺ et NH. Le tétraphénylborate de sodium (NaTPB) constitue un agent d'extraction puissant du K⁺. L'ajout de l'EDTA disodique à forte concentration permet d'extraire les ions Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺, tout en stabilisant le KTPB. Le précipité de KTPB est ensuite dissout par ébullition dans une solution de NH/Cl qui empêche la re-adsorption de K⁺. HgCl a été ajouté afin de prévenir la dissociation des ions TPB[13].

Une autre prise d'essai de 3 g de sol, a été mise en contact pendant 48 h avec 20 ml de solution d'extraction. 100 ml de la solution de dissolution, puis porté à ébullition pendant 20 mn. La solution a été filtrée en présence du NH/Cl 0,01 N. Le Ca, Mg, K ont été dosé par absorption atomique. Cependant, les anions SO₄ et le PO ont été dosé par colorimétrie [13].

Annexe III:

Partie I : Stress oxydant

L'aspect inexorable du vieillissement a attiré de tout temps l'attention des scientifiques et philosophes des différentes civilisations. Les progrès récents en biologie ont conduit à l'élaboration de deux théories susceptibles de mieux comprendre la genèse d'une diminution progressive de la fonctionnalité des cellules et tissus. Selon Toussaint et Remacle (1994), les processus du vieillissement seraient essentiellement contrôlés par le génome nucléaire. La seconde, initiée dès 1956 par Harman (1956), postule qu'une accumulation progressive d'espèces radicales de l'oxygène (EROs) produites en grande partie par les mitochondries surviendrait au cours de la vie et endommagerait l'organite. Une telle diminution de la fonctionnalité des mitochondries induirait à la fois des déficiences métaboliques et une production additionnelle d'EROs. Ces molécules endommageraient également les protéines et membranes cellulaires, et engendreraient des mutations et délétions dans le génome nucléaire. Un tel processus pourrait à la fois expliquer la fréquence d'apparition de certaines pathologies avec le vieillissement telles que les maladies dégénératives ou certains cancers, et le vieillissement lui-même. Depuis deux décennies, cette théorie a généré un intérêt grandissant pour le rôle des espèces radicalaires de l'oxygène dans l'apparition de certaines pathologies notamment associées à des déficiences métaboliques. En 1991, Sies (1991) définit le stress oxydant comme un déséquilibre entre la production de radicaux libres et l'efficacité du système de défense antioxydant. Il peut survenir suite à une augmentation importante de la production d'EROs ou à une diminution des défenses antioxydantes. La chaîne respiratoire mitochondriale et la NADPH oxydase constituent les deux principales sources d'EROs. Cependant, la xanthine oxydase peut également contribuer de manière non négligeable à cette production.

La production d'EROs peut être augmentée par différents facteurs environnementaux comme les rayons UV, la pollution mais aussi lors de l'inflammation au cours d'une activité physique intense ou une alimentation pauvre en fruits et légumes. Ainsi, une concentration très importante d'EROs non maîtrisée par l'organisme peut induire des dommages cellulaires impliqués dans de nombreuses pathologies. Par exemple, l'oxydation des lipides favorise les risques de maladies cardiovasculaires alors que la dégradation de l'ADN (acide désoxyribonucléique) peut conduire au développement de cancers (Aruoma, 1998).

Toutefois, les EROs ont une dualité d'action. Parallèlement au stress oxydant généré lorsque leur production excède largement leur dégradation par les systèmes antioxydants, les EROs sont, en quantité modérée, de véritables seconds messagers (Magder, 2006). Ils interviennent dans la régulation de la prolifération et de la différenciation cellulaire, l'apoptose, ou au cours de l'inflammation (Gulbins et al., 2003; Seyer et al., 2006; Seyer et al., 2011).

Après un bref rappel des différentes EROs et de leurs sources potentielles, nous aborderons plus en détails l'implication de la mitochondrie dans le stress oxydant et les conséquences des dommages oxydatifs sur l'organisme.

1 Les espèces radicalaires de l'oxygène (EROs)

Les radicaux libres sont définis comme étant des molécules ou des atomes possédant un électron non apparié sur leur couche périphérique, ce qui leur confère une grande réactivité. Ces radicaux libres auront toujours tendance à remplir leur orbitale en captant un électron. Ce sont donc pour la plupart de puissants oxydants.

Dans la cellule, ils sont notamment générés au sein de la chaîne respiratoire mitochondriale. En effet la mitochondrie fournit 90% de l'énergie nécessaire à la cellule (Rolfe and Brown, 1997), et utilise 80% de la consommation d'oxygène de cette dernière. Cependant, au cours de la réduction de l'oxygène en eau (réaction 1), 1 à 2% de l'oxygène sont transformés en espèces réactives de l'oxygène (EROs) (Koppenol, 2001). L'anion superoxyde est le premier radical libre formé (réaction 2), ce qui conduit par la suite à la production d'autres EROs comme le peroxyde d'hydrogène, l'oxygène singulet (1O_2), le radical hydroxyle ($\bullet OH$), l'acide hypochloreux (HOCl), des dérivés nitrés ($NO\bullet$). Leurs instabilités et leurs réactivités peuvent alors induire une dégradation des protéines, de l'ADN, l'oxydation des lipides, l'ensemble de ces phénomènes étant alors à l'origine de divers désordres biologiques associés à certaines maladies.

1.1 Radical superoxyde

Le radical superoxyde est produit à partir de l'oxygène moléculaire, notamment par les cellules phagocytaires au cours d'une attaque virale ou bactérienne. Parmi les radicaux libres, il est celui qui a la réactivité la plus faible vis-à-vis des substrats bio-organiques puisqu'il ne

réagit ni avec les acides nucléiques, ni avec les protéines, ni avec les lipides en solutions aqueuses (Bielski et al., 1985).

1.2 Radical hydroxyle (OH•)

Le radical hydroxyle OH• est principalement produit à partir de H₂O₂. L'ion ferreux réagit avec le peroxyde d'hydrogène pour conduire à la formation du radical hydroxyle qui s'avère être un oxydant puissant doté de la vitesse de réaction la plus rapide ($\approx 10^{10} \text{ mol}^{-1} \cdot \text{L} \cdot \text{s}^{-1}$) (Buxton et al., 1988). Ainsi, il réagit avec l'ensemble des molécules de l'organisme selon trois

1.3 Radicaux peroxydes

Les radicaux peroxydes sont des radicaux secondaires, formés lors de l'interaction des radicaux hydroxyles avec les acides gras polyinsaturés (AGPIs).

Cette réaction en chaîne, située au niveau de la membrane plasmique, est connue sous le nom de peroxydation lipidique. Elle se déroule en trois étapes : initiation, propagation, terminaison. Le radical hydroxyle capte un hydrogène du groupement méthylène bis-allylique des AGPIs pour former un radical alkyle (L•) qui réagit avec l'oxygène pour former le radical peroxyde (LOO•). L'étape de propagation consiste en une réaction entre le radical alkyle et les autres AGPIs pour former un autre radical alkyle.

1.4 Le monoxyde d'azote

Le monoxyde d'azote (•NO) est une molécule labile synthétisée à partir de la L-arginine (réaction 6), acide aminé essentiel pour la synthèse des protéines.

Dans les conditions physiologiques, le monoxyde d'azote (•NO) présente à la fois des propriétés régulatrices et cytotoxiques en fonction de son site de production et de la quantité produite.