



UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES

Projet de Fin d'Etudes

**En vue de l'obtention du diplôme de la licence Sciences et Techniques en
biologie**

Option : Biotechnologie et Valorisation des Phyto-Ressources

Thème

**L'effet de différent régime de l'irrigation déficitaire sur la qualité de fruit
et le jus de grenadier**

Présenté par :

Sribssi Manal

Encadré par :

- Pr. Lazraq Abderahim (FST – Fès)
- Dr. Razouk Rachid (INRA – Meknès)

Soutenu le 11 Juin 2019

Devant le jury composé de :

- Pr. Lazrek Abderahim (FST – Fès)
- Pr. Derraz Khalid (FST-Fès)
- Dr. Rachid Razouk (INRA – Meknès)

Année universitaire : 2018-2019

REMERCIEMENT

Je tiens avant d'aborder le développement de ce rapport, à remercier en toute sincérité toute l'équipe pédagogique de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, en particulier :

J'adresse mes sincères remerciements au **Pr. LAZRAQ ABDERAHIM** pour son aide et ses conseils concernant les missions évoquées dans ce rapport, qu'il m'a apporté lors des différents suivis, et pour son orientation, sa disponibilité tout au long de la période de stage et durant la préparation à la soutenance.

Je veux aussi témoigner toute ma reconnaissance au **Dr. Rachid RAZOUK**, chercheur, agro physiologie des arbres fruitiers et de l'olivier. Je vous remercie chaleureusement pour m'avoir soutenu, m'avoir facilité l'intégration dans sa section, m'avoir accordé toute sa confiance ; pour le temps qu'il m'a consacré tout au long de cette période, sachant répondre à toutes mes interrogations.

Et je profite de cette occasion pour adresser mes vifs remerciements à toute l'équipe de l'unité « **Agronomie et physiologie végétale** », pour leur esprit coopératif et leur aide, ainsi que tous mes amis du laboratoire en particulier **HAMDANI Anas** pour les sympathiques moments qu'on a passé ensemble.

J'exprime ici ma profonde gratitude et mes remerciements à mes chers parents, mon mari, tous les membres de ma famille et tous mes amis qui m'ont aidé de près ou de loin pour arriver à ce stade.

Enfin, je remercie chaleureusement toute personne ayant participé de près ou de loin et quel que soit son effet minime dans la réalisation de ce travail.

Résumé

L'irrigation déficitaire consiste à apporter un volume d'irrigation saisonnier ne satisfaisant que partiellement aux besoins hydriques de la plante. Cette étude a été faite pour examiner l'effet des différentes stratégies d'irrigation déficitaire régulée à la goutte à goutte sur la qualité du fruit du grenadier, à travers l'analyse de ses propriétés physico-chimiques et biochimiques.

L'expérimentation a été menée au domaine expérimental de l'INRA à Ain Taoujdate sur deux variétés de grenadier : Sefri et Wonderful. Deux régimes d'irrigation déficitaire, 50% et 70% de l'évapotranspiration de la culture (ETc) ont été comparés au régime d'irrigation à la demande (100% ETc). Les résultats obtenus ont montré globalement que le régime hydrique n'a aucun effet sur le poids du fruit chez Wonderful, alors que chez Sefri celui-ci a été réduit significativement sous le régime de 50% ETc. L'effet du déficit hydrique sur les propriétés physique des arilles a été marqué par une diminution de leur teneur en jus associée à une augmentation de leur teneur sèche. Sur le plan chimique, il a été noté une détérioration de la qualité du jus issus de Sefri sous déficit hydrique marquée par une diminution du taux de sucres (°Brix) et une légère augmentation des valeurs du pH. Sur le plan biochimique, aucun effet n'a été enregistré sur les teneurs du jus en anthocyanines et polyphénols ainsi que l'activité antioxydante au DPPH. Le paramètre significativement affecté chez les deux variétés par le déficit hydrique était seule la teneur en sucres solubles. En plus de ces observations, il a été noté que chez la variété Sefri, les teneurs en protéines et tanins (hydrosolubles et condensés) ont été affectées par le déficit hydrique. Alors que chez la variété Wonderful, l'effet du déficit hydrique a été plutôt significatif pour les teneurs en acides aminés et flavonoïdes.

Mots clés : Grenadier, Sefri, Wonderful, irrigation déficitaire, qualité du fruit

Abstract

Deficit irrigation consists of bringing a volume of seasonal irrigation that only partially satisfies the water requirements of the plant. This study was done to examine the effect of different drip-regulated deficit irrigation strategies on the quality of the pomegranate fruit, through the analysis of its physicochemical and biochemical properties.

Experimentation was conducted at INRA's experimental area in Ain Taoujdate on two varieties of grenadier: Sefri and Wonderful. Two deficit irrigation schemes, 50% and 70% of crop evapotranspiration (ET_c) were compared to the on-demand irrigation regime (100% ET_c). Overall results showed that the water regime had no effect on the weight of the fruit at Wonderful, whereas at Sefri it was significantly reduced under the 50% diet. The effect of water deficit on the physical properties of arils was marked by a decrease in their juice content associated with an increase in their dry content. On the chemical side, it was noted a deterioration of the quality of juice from Sefri under water deficit marked by a decrease in sugar (Brix) and a slight increase in pH values. Biochemically, no effects were recorded on anthocyanin and polyphenol juice contents and DPPH antioxidant activity. The parameter significantly affected in both varieties by the water deficit was only the content of soluble sugars. In addition to these observations, it was noted that in the Sefri variety, the protein and tannin contents (water soluble and condensed) were affected by the water deficit. While in the Wonderful variety, the effect of water deficit was rather significant for amino acid and flavonoid levels.

Keywords: Grenadier, Sefri, Wonderful, deficit irrigation, fruit quality

Sommaire

REMERCIEMENT.....	II
RESUME.....	III
SOMMAIRE.....	V
LISTES DES FIGURES	VIII
LISTE DES TABLEAUX.....	IX
INTRODUCTION.....	1
PRESENTATION DE L'INSTITUTION D'ACCEUIL :.....	3
CRRA MEKNES.....	3
I. Présentation de CRRA	3
1. Missions et Objectifs :	3
2. Potentiel humain qualifié :.....	3
PARTIE 1 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	4
I. Généralités sur la grenade et le grenadier	4
1. Introduction	4
2. Origine :.....	4
3. Origine du Grenadier cultivé :	4
4. L'introduction du Grenadier dans la culture européenne et méditerranéenne :.....	5
5. Nomenclature	5
6. Production de la grenade dans le Monde et au Maroc en particulier :.....	5
7. Exigences écologiques :.....	6
II. Etude botanique :.....	7
1. Classification botanique	7
2. Arbre de Grenadier :.....	7
III. Qualité du fruit :	11

1.	Composition physique :	11
2.	Composition biochimique :	11
IV.	les besoin en eau de grenadier :	13
V.	Contrôle de stress hydrique :	13
1.	Généralités :	13
2.	L'Etat actuelle de stress hydrique au Maroc :	13
3.	Contrôle de stress hydrique :	14
MATERIEL ET METHODE.....		16
I.	Cadre de l'étude	16
II.	Matériel végétal et dispositif expérimental	16
III.	Mesures réalisées.....	17
1.	Mesure des propriétés physiques des arilles	18
1.1	Poids des arilles.....	18
1.2	Teneur en jus.....	18
1.3	Densité du jus.....	18
2.	Analyses chimiques du jus	18
2.1	L'acidité titrable (AT).....	18
2.2	Le pH	19
2.3	Le degré Brix	19
3.	Analyse biochimiques du jus	19
3.1	Dosage des polyphénols.....	19
3.2	Dosage des anthocyanes totaux.....	19
3.3	Dosage des tanins hydrosolubles.....	20
3.4	Dosage des tanins condensés.....	20

3.5	Dosage de flavonoïdes	20
3.6	Dosage de protéines totales	21
3.7	Dosage des sucres solubles totaux	21
3.8	Dosage des acides aminés	22
3.9	Dosage de l'activité antioxydante (Méthode DPPH)	22
RESULTATS ET DISCUSSION		23
I.	Effet de l'irrigation déficitaire sur la qualité du fruit du grenadier	23
1.	Effet sur les propriétés physiques des arilles	23
2.	Effet sur les propriétés chimiques du jus	24
3.	Effet sur les propriétés biochimiques du jus	25
3.1	Les sucres solubles totaux	25
3.2	Acides aminés totaux	26
3.3	Les protéines	27
3.4	Composés phénoliques, anthocyanines et flavonoïdes	28
3.5	Les tanins condensés et hydrosolubles	28
3.6	Activité antioxydante	29
4.	Corrélation entre les paramètres biochimiques étudiés	31
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS		33
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		34
ANNEXES.....		37

Listes des figures

FIGURE 1 : ARBRE DE GRENADIER	7
FIGURE 2: LA FEUILLE DE GRENADIER	8
FIGURE 3 : LA FLEUR DE GRENADIE	9
FIGURE 4 : FRUIT DE GRENADIER	9
FIGURE 5 : LES GRAINES.....	10
FIGURE 6 : ECORCE EXTERNE	10
FIGURE 7 : CLOISONNEMENT INTERNE.....	10
FIGURE 8. TENEUR EN JUS ET MATIERE SECHE DES ARILLES SOUS LES DIFFERENTS REGIMES D'IRRIGATION DEFICITAIRE POUR LES DEUX VARIETES DE GRENADIER, SEFRI ET WONDERFUL.....	24
FIGURE 9. VARIATION DU DEGRE BRIX ET DU PH DU JUS DU GRENADIER SOUS LES DIFFERENTS NIVEAUX D'IRRIGATION DEFICITAIRE	25
FIGURE 10. VARIATION DE LA TENEUR EN SUCRES SOLUBLES TOTAUX DU JUS DE GRENADE SOUS LES DIFFERENTS NIVEAUX DE L'IRRIGATION DEFICITAIRE	26
FIGURE 11. VARIATION DE LA TENEUR EN ACIDES AMINES TOTAUX DU JUS DE GRENADE SOUS LES DIFFERENTS NIVEAUX DE L'IRRIGATION DEFICITAIRE	27
FIGURE 12. VARIATION DE LA TENEUR EN PROTEINES DU JUS DE GRENADE SOUS LES DIFFERENTS NIVEAUX DE L'IRRIGATION DEFICITAIRE	27
FIGURE 14. VARIATION DE LA TENEUR DU JUS DE GRENADE EN TANINS CONDENSES ET HYDOSOLUBLES SOUS LES DIFFERENTS NIVEAUX DE L'IRRIGATION DEFICITAIRE.....	29
FIGURE 15. VARIATION DU TAUX DE REDUCTION DU RADICAL DPPH DU JUS DE GRENADE SOUS LES DIFFERENTS NIVEAUX DE L'IRRIGATION DEFICITAIRE	30
FIGURE 18 : COURBE D'ETALONNAGE DE GLYCINE	37
FIGURE 19 : COURBE D'ETALONNAGE DE QUERCETINE.....	37
FIGURE 20 : COURBE D'ETALONNAGE DE SERUM ALBUMINE BOVIN.....	38
FIGURE 21 : COURBE D'ETALONNAGE DE GLUCOSE.....	38
FIGURE 22 : COURBE D'ETALONNAGE DE CATECHINE	39
FIGURE 23 : COURBE D'ETALONNAGE D'ACIDE GALLIQUE.....	39
FIGURE 24 : COURBE D'ETALONNAGE D'ACIDE TANNIQUE	40

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : CLASSIFICATION PHYLOGENETIQUE APGII.....	7
TABLEAU 2. VALEURS MENSUELLES D'EVAPOTRANSPIRATION ET DOSES D'IRRIGATION TESTEES	17
TABLEAU 3: DEGRE DE CORRELATION ENTRE LES DIFFERENTS PARAMETRES PHYSIOLOGIQUES	31
TABLEAU 4 : COMPOSITION DU JUS DE GRENADES EN ACIDES ORGANIQUES, EN SUCRES ET EN MINERAUX (MG/100 G DE LA PARTIE COMESTIBLE DU FRUIT).....	41
TABLEAU 5. EFFET DES DIFFERENTS REGIMES HYDRIQUES SUR LES PARAMETRES PHYSIQUES DES ARILLES DU GRENADIER.....	42
TABLEAU 6. EFFET DES DIFFERENTS REGIMES HYDRIQUES SUR DES PARAMETRES CHIMIQUES DU JUS DU GRENADIER	43
TABLEAU 7. EFFET DES DIFFERENTS REGIMES HYDRIQUES SUR DES PARAMETRES BIOCHIMIQUES DU JUS DU GRENADIER	44

INTRODUCTION

Le grenadier est considéré comme une espèce tolérante au déficit hydrique. Pour cette raison, au Maroc, sa culture est pratiquée dans différentes régions dont certaines présentent une aridité prononcée, telle Settat (7% de la superficie totale) et Taounate (6%). Toutefois, il est aussi connu pour sa bonne valorisation de l'eau d'irrigation, faisant de sa culture un des piliers de l'agriculture en zones de grande hydraulique dont principalement les plaines de Tadla (24%) et du Haouz (20%).

Il s'agit d'une spéculation fruitière très valorisante des terres de part la demande des marchés et la qualité du fruit, aussi bien sur le plan nutritionnel que diététique. Cette espèce est aussi moins exigeante en froid, parmi les arbres fruitiers, faisant d'elle une culture alternative d'un grand intérêt pour les zones arboricoles affectées par le réchauffement climatique, telle la plaine de Sais.

Bien que le grenadier présente ces qualités pour l'adaptation aux changements climatiques, les objectifs de production doivent être concurrentiels pour un développement durable du secteur. En effet, face à la concurrence des marchés, à l'échelle nationale et internationale, les agriculteurs doivent sans cesse améliorer leur compétitivité. Celle-ci dépend non seulement de la quantité de la production, mais aussi de sa qualité, influencées par les stress biotiques et abiotiques. Parmi ces derniers, le stress hydrique constitue l'un des grands défis qui mérite une attention particulière. Au Maroc, ce stress est imposé et n'est plus un choix compte tenu de la faiblesse des disponibilités hydriques et l'accroissement des besoins en eau des autres secteurs (Industrie, eau potable).

L'irrigation déficitaire régulée a été développée dans les années 1980 en tant que stratégie pour économiser l'eau et améliorer la productivité des arbres fruitiers. Cette stratégie de control du déficit hydrique est basée sur la réduction des doses d'irrigation en dehors des stades phénologiques critiques, pendant lesquelles les composantes du rendement sont moins sensibles au stress hydrique. La mise en œuvre de cette technique exige au préalable une identification de ces périodes avant l'expérimentation de restrictions hydriques raisonnées. À l'échelle internationale, notamment dans certains pays d'Europe et d'Asie, les travaux relatifs à cette thématique sont focalisés beaucoup plus sur des restrictions hydriques en fin de cycle en vue d'améliorer la qualité de la production dans un contexte de disponibilité importante en eau (Intrigliolo et al., 2012). À l'échelle nationale, où les disponibilités hydriques sont limitées, les travaux doivent s'orienter plutôt vers l'économie d'eau d'irrigation en assurant des niveaux satisfaisants en termes de rendement et de qualité de la production (Razouk, 2018).

Le présent travail constitue une contribution à l'étude de l'effet de l'irrigation déficitaire régulée au goutte à goutte sur le niveau de production du grenadier dans la plaine de Sais. Elle a visé particulièrement les effets sur la qualité biochimique du fruit. Les objectifs fixés pour ce travail étaient :

- ✓ Déterminer l'effet de deux niveaux d'irrigation déficitaire sur la qualité du fruit du grenadier.
- ✓ Identifier les composés bioactifs affectés par le stress hydrique au niveau du jus du grenadier.
- ✓ Quantifier pour les composés affectés par le stress hydrique, le niveau de variation en fonction de la dose d'irrigation déficitaire.

PRESENTATION DE L'INSTITUTION D'ACCEUIL :

CRRA Meknès

I. Présentation de CRRA

Le Centre Régionale de Recherche Agronomique de Meknès est une entité régionale de l'Institut National de la Recherche Agronomique du Maroc dont la mission est d'entreprendre, étudier et transférer les technologies qui répondent aux besoins de sa zone d'action qui couvre les Directions Provinciales d'Agriculture (DPA) de Boulomane, El Hajeb, Fès, Meknès, Khénifra, Taounate, Taza et Sefrou. Et possède 3 domaines expérimentaux que sont :

- Domaine d'Ain Taoujdate (spécialité ; arboriculture fruitière),
- Domaine de Douyet (spécialité ; grandes cultures),
- Domaine d'Annoeur (vocation montagne).

1. Missions et Objectifs :

Ces activités de recherche s'articulent autour de 5 points stratégiques de développement dont :

- Intensification durable des grandes cultures et diversification des systèmes de culture.
- Intensification de la culture d'olivier par l'introduction des nouvelles variétés et par l'amélioration de la qualité d'huile d'olive à travers la maîtrise de la récolte, des conditions, de transport et de stockage des olives.
- Amélioration de la productivité de la filière des plantes aromatiques et médicinales.
- Amélioration et valorisation de la filière maraichère.
- Intensification de la culture de câprier.

2. Potentiel humain qualifié :

- 26 Chercheurs, spécialisés dans différentes disciplines des Sciences Agronomique et Humaine.
- 18 Techniciens de recherche.
- Un Administrateur et 51 Agents de support.

Cette équipe est répartie dans 4 Unités de Recherche (U.R) dont :

- U.R Amélioration des Plantes et Conservation des Ressources Phyto-Génétiques,
- U.R Agronomie et Physiologie Végétale,
- U.R Gestion durable des Ressources Naturelles et de Sociologie et d'Economie Rurales,
- U.R Protection des Plantes.

PARTIE 1 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Généralités sur la grenade et le grenadier

1. Introduction

Depuis ces dernières années, une grande attention est accordée aux bienfaits de la consommation régulière des fruits et légumes sur la santé humaine. Cette valeur nutritive réside dans la grande variété de molécules biologiquement actives (fibres, caroténoïdes, composés phénoliques, vitamines...) (Tomas-Barberan and Gil, 2008). La grenade est l'un des produits les plus riches en antioxydants notamment les polyphénols solubles, les tanins et les anthocyanes (Gil et al., 2000). Ces constituants présentent diverses activités biologiques telles que l'élimination des radicaux libres, l'inhibition de la croissance microbienne et la diminution des risques de maladies cardiovasculaires, cerebro-vasculaires et certains cancers (Mena et al., 2011). Les extraits du grenadier peuvent être utilisés aussi pour la prévention ou la guérison de l'athérosclérose, des diarrhées, des ulcères gastriques et des maladies liées à l'œstrogène telle que la maladie de Paget du mamelon (Holland et al., 2009). C'est pour ces raisons que la culture du grenadier connaît un regain d'intérêt dans plusieurs pays en raison d'une demande assez forte de ces fruits sur le marché.

Le grenadier (*Punica granatum* L) est une espèce fruitière pérenne tolérante à la sécheresse et capable de valoriser les sols pauvres et alcalins. Il jouit de grandes capacités d'adaptation aux conditions de milieu caractérisées par une aridité climatique marquée (HMID, 2013).

2. Origine :

La partie phylogénétique du Grenadier se trouve selon les derniers travaux des botanistes et pomologues, dans toute la région qui englobe l'Iran, l'Afghanistan et la Transcaucasie orientale, où s'observe une multitude de formes spontanées et de variétés cultivées.

En Asie Mineure dans la région méditerranéenne, ainsi qu'en Afrique de Nord, l'espèce se serait naturalisée à la suite d'une très ancienne culture, et de sa dispersion par les oiseaux.

3. Origine du Grenadier cultivé :

La culture du Grenadier est considérée comme une domestication d'une espèce sauvage, elle n'a pas débuté dans la zone méditerranéenne comme on le supposait encore récemment, mais elle a pris naissance en Asie occidentale à l'époque préhistorique, son extension dans l'antiquité vers l'Occident (zone méditerranéenne) d'abord, puis vers l'Inde et la Chine.

4. L'introduction du Grenadier dans la culture européenne et méditerranéenne :

Ce sont les Romains qui ont introduit cet arbre en Afrique du Nord, et ils le connaissaient sous le nom de « *Malum panicum* », décrit par les auteurs romains depuis l'époque de Caton (IIe siècle avant Jésus-Christ).

En Espagne, la culture du Grenadier s'est développée surtout sous l'occupation arabe, d'où son nom « Granada » nom de la ville de Grenade, où cette culture était florissante, mais actuellement est moins appréciée qu'elle ne l'était dans le passé.

5. Nomenclature

- Nom scientifique : *Punica granatum*
- Nom français : grenadier
- Nom anglais : pomegranate
- Nom espagnol : Granada
- Nom italien : Melograno
- Nom arabe : Romane

6. Production de la grenade dans le Monde et au Maroc en particulier :

La surface mondiale dédiée à la culture du grenadier est de 300 000 ha, dont plus de 76 % sont répartis sur cinq pays (Inde, Iran, Chine, Turquie et USA). Cependant, l'Espagne, l'Égypte et Israël ont une superficie comprise entre 16 000 et 24 000 ha et sont parmi les pays qui ont développé le secteur d'exportation et aussi la sélection de nouvelles variétés (Quiroz, 2009). D'autres pays pratiquent également cette culture: Afghanistan, Pakistan, Arménie, Géorgie, Tadjikistan, Jordanie, Italie, Tunisie, Azerbaïdjan, Libye, Liban, Soudan, Myanmar, Bangladesh, Mauritanie, Chypre et Grèce (Melgarejo and Valero, 2012).

Au Maroc, la culture du grenadier s'étend sur une superficie de 8218 ha qui donne une production estimée à 76 327 de tonnes, soit un rendement moyen de 12 T/ha (MAPM, 2012). Mais cette culture reste moins importante au Maroc par rapport à d'autres cultures telles que : les agrumes et l'abricotier, ayant une superficie respectivement de 44 500 ha et 16 200 ha et qui donnent une production respectivement de 1400 000 et 115 000 Tonnes/An (MAPM, 2012).

Le grenadier est cultivé dans toutes les régions avec une certaine concentration dans la plaine du Tadla (35%) ; du Haouz (20%) ; de Settat (6,6%) ; de Taounate (5,8%) ; de Nador (5,3%) de Chafchaouen (4,5%) ; d'Azilal (3,3%) et dans certaines oasis du sud. Elle est conduite en plantation.

7. Exigences écologiques :

a) Exigences climatiques

Le grenadier s'adapte à de nombreux climats, des tropiques aux régions tempérées chaudes. Cependant, c'est le climat austral subtropical, voire tropical, qui lui convient le mieux. Les meilleurs fruits sont obtenus dans les régions subtropicales, où la période des températures élevées concorde avec la maturité des grenades. L'espèce exige une petite dose de froid en période hivernale pour son évocation florale, mais il craint les conditions généralement froides des hautes altitudes (Melgarejo, 1993).

Il supporte très bien la sécheresse, mais cela compromet la qualité de ses fruits. Un climat chaud et sec sera bon pour le grenadier à condition que ses racines ne manquent pas d'eau (Afaq et al. 2005). Il est très intéressant pour les régions arides et semi-arides (Melgarejo and Salazar, 2003).

En dehors des régions subtropicales, le grenadier pousse bien dans toutes les régions où la température ne descend pas en dessous de -15 °C et certains cultivars acides d'Asie centrale peuvent même survivre à des températures de -25 °C ou -30 °C (Aleksandrov, 1950)

b) Exigences édaphiques :

Le grenadier est une espèce connue pour sa tolérance au calcaire (Mégare and Salazar, 2003). Il donne un bon rendement dans les sols salins, et se classe dans le groupe des espèces les plus résistantes à la salinité (Sanchez- Capuchino, 1986). Sa tolérance à la sécheresse est relative et se fait au détriment de sa croissance végétative et de sa fructification. Les meilleurs résultats

d'installation de plantations sont obtenus en sols d'alluvions profondes avec des disponibilités satisfaisantes en eau.

II. Etude botanique :

1. Classification botanique

Tableau 1 : classification phylogénétique APGII

Embranchement :	Spermaphytes
Sous embranchement :	Angiospermes
Classe :	Dicotylédones vraies
Sous Classe :	Rosidées
Ordre :	Myrtales
Famille :	Lythracées
Genre :	Punica
Espèce :	Punica granatum

2. Arbre de Grenadier :

Le grenadier se présente comme un petit arbre de 3 à 4 m. de hauteur, donnant de nombreux rejets, on le trouve plus souvent sous forme de cépée, avec une tige unique. Les rameaux sont grêles, parfois épineux (EVREINOFF, 1957).



Figure 1 : Arbre de grenadier

a) Feuille :

Les feuilles du grenadier sont caduques opposées la face supérieure caractérisée par la couleur verte foncée et à nervure médiane nettement déprimée, la face inférieure vert clair montre une nervure médiane très saillante.

Un limbe elliptique allongé, de 3 à 8 cm de long de sommet borné ou allongé, munies d'un court pétiole rougeâtre (GODET J, 1991)



Figure 2: La feuille de grenadier

c) Fleur :

- ✚ Les fleurs axillaires, solitaires ou parfois disposées par deux, présentent un calice épais, coriace, tubuleux et turbiné à 6 lobes triangulaires
- ✚ La corolle d'un rouge éclatant est formée de 5 à 7 pétales obovales (PLANCHON, COLLIN, 1875).
- ✚ Elles sont appelées aussi balaustes (quand elles sont sous forme de boutons), elles sont hermaphrodites, actinomorphes espèce monoïque qui se développe, sur le même arbre (COURCHET, 1897).
- ✚ La dominance revient généralement aux fleurs males avec un taux de 60 à 70 % selon les variétés et les saisons



Figure 3 : La fleur de grenadie

d) Fruit :

Le fruit de grenadier contient la baie et la graine



Figure 4 : Fruit de grenadier

➤ La baie :

- ❖ Baie ronde à écorce dur sa taille est d'une pomme ou d'une orange, son diamètre varie entre 2 et 12 cm (CAZIN, 1868).
- ❖ Divisée en neuf loges dont les cloisons membraneuses partent du réceptacle et renferment des semences entourées d'une pulpe succulente, ordinairement rougeâtre (ROZIER, 1787).

➤ La graine :

- ✓ C'est la partie comestible du fruit
- ✓ Une baie renferme de nombreuses graines contenues dans des loges, séparées par des cloisons ténues et membraneuses, ces graines possèdent un mésocarpe charnu et gélatineux, acidulé et sucré (BÄRTELS, 1998).

- ✓ Composé d'un tégument externe pulpeux et très succulent, et un tégument interne dur et coriace, courtement funicules, deviennent plus ou moins anguleuses par compression réciproque (COURCHET, 1897)



Figure 5 : Les graines

➤ **L'écorce du fruit :**

L'écorce du fruit du grenadier ou autrement appelé malicorium, il s'agit de la partie externe et dure du fruit. La couleur de la face extérieure dépend de la variété, brillants, la face intérieure généralement jaunâtre, concave, portant l'empreinte des graines qui y étaient appliquées, de saveur amère et astringente (PLANCHON, COLLIN, 1897)



Figure 6 : Ecorce externe



Figure 7 : Cloisonnement interne

III. Qualité du fruit :

La composition physico-chimique 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) (Ozkan, 2002).

1. Composition physique :

Le poids des grenades varie généralement selon l'origine et le cultivar entre 163 et 216 g. De point de vue botanique, le fruit de grenadier se compose de 3 parties : l'épiderme (écorce), les arilles et les pépins. La proportion de l'épiderme qui est la partie extérieure du fruit représente 28 à 32% du poids total du fruit, alors que le taux en graines varie de 55 à 60 % du poids total du fruit (Al-Maiman and Ahmad, 2002, Oukabli et al., 2004). Dans une autre étude concernant des cultivars iraniens, le poids du fruit varie entre 197 g et 315 g, le pourcentage en arilles est compris entre 38–65% du poids total du fruit, écorce (32,28–59,82%), pépins (9,44–20,55%) et jus (26,95–46,55 ml/100g du fruit) (Tehranifar et al., 2010).

2. Composition biochimique :

➤ jus de grenade :

Le jus de grenade, comme de nombreux autres jus de fruits, se compose de sucres tels que le glucose, le fructose et le saccharose et d'acides organiques tels que l'acide citrique, l'acide malique, l'acide oxalique et l'acide tartrique. Le tableau 3 montre les valeurs minimales et maximales obtenues pour les acides organiques et les sucres. Selon une étude élaborée par Melgarejo et al. (2000). Lansky et al. (2007) ont montré que parmi les acides aminés trouvés dans la grenade, il y a la valine, proline et méthionine.

D'autres études ont montré que le jus a une composition élevée en vitamines hydrosolubles dont le plus important est la vitamine C avec une concentration qui varie entre 4 et 6 mg/100g de proportion comestible selon le codex alimentarius en 2009 (annexe 8).

Le grenadier contient aussi des composés phénoliques, des flavanols et des indole-amines comme la tryptamine, la sérotonine, neuromédiateur qui intervient dans la régulation du sommeil, de l'appétit et de l'humeur ainsi que la mélatonine, connue sous le nom « d'hormone du sommeil » qui intervenant dans la régulation des rythmes chrono biologiques (Lansky et al., 2007).

Enfin, sa teneur en composés phénoliques et surtout en anthocyanines, puissantes molécules antioxydantes fournissant au jus de grenade sa couleur brillante, augmente jusqu'à maturité du fruit et diminue après la pression du fruit (Hernandez et al., 1999).

➤ **La graine de grenade :**

L'huile, obtenue à partir des graines de grenade, se compose a 80% d'acides gras insaturés, acides gras présentant au moins une double liaison, essentiellement représentée par l'acide punique, acide cis-9,trans-11,cis- 15,octadecatrienoïque, mais également par les acides oléiques et linoléiques (Hornung et al., 2002). Cette huile se compose aussi d'acides gras satures, qui ne présentent aucune double liaison, comme les acides palmitiques et stéariques (Lansky et al., 2007).

Il a été mis en évidence l'existence d'hormones stéroïdiennes dans les graines de grenade (Tsuyuki et al., 1981). De plus, ces graines contiennent aussi de nombreux stérols, comme le cholestérol ou le stigmastérol. Enfin, elles renferment aussi un glycolipide entrant dans la composition des gaines de myéline des mammifères et le cérébroside (Lansky et al., 2007).

➤ **l'écorce de la grenade :**

L'écorce du fruit contient deux importants acides hydroxy benzoïques, l'acide gallique et l'acide ellagique. Elle renferme également des acides hydroxycinnamiques, des dérivés de flavones, des molécules de coloration jaune et des anthocyanidines, responsables de la couleur rouge des grenades. De nombreux ellagitanins sont aussi présents, tels que la punicaline, la punicalagine, la granatine A et la granatine B (Lansky et al., 2007). Ces tanins représentent jusqu'à 28% de l'épiderme du fruit (Fournier, 1948). La pelletierine pourrait aussi se trouver dans l'écorce de la grenade.

IV. les besoin en eau de grenadier :

Les irrigations nécessaires doivent s'effectuer dans des intervalles de temps réguliers pour éviter les éclatements des fruits. Le grenadier est une espèce caractérisée par ce désordre physiologique dont la sensibilité varie selon la variété et les conditions de culture. Cependant, une forte pluie à l'approche de la récolte d'un verger stressé favorise l'éclatement des grenades et leur altération (Walali, 1995).

Les pratiques les plus courantes font état de 13 à 18 d'apports d'eau effectués entre le mois de mars et le mois d'octobre soit une moyenne de 10000 m³/ha, Il est nécessaire de garder le système racinaire constamment frais par des irrigations régulières et bien raisonnées (Haddioui, 2012).

V. Contrôle de stress hydrique :

1. Généralités :

Stress hydrique est un phénomène qui touche tout le monde, et qui se définit comme une insuffisance d'eau de qualité satisfaisante, pour pouvoir répondre aux besoins humains et environnementaux. Dans plusieurs régions du monde, la pression sur l'eau est en effet de plus en plus forte, et notamment dans le Nord de l'Afrique.

Ce phénomène est lié d'une part à l'augmentation des prélèvements faits par l'Homme dans les eaux superficielles ou dans les nappes phréatiques, mais également d'autre part au réchauffement climatique qui perturbe le cycle de l'eau. Il est prévu que 63 % de la population mondiale devrait ainsi subir un stress hydrique en 2025 et que dans un futur proche, l'apparition de conflits pour l'eau va prendre la même importance que les conflits autour du pétrole (Sharad et al, 2015).

Du point de vu végétal, le stress hydrique correspond à une situation dont la plante subit une diminution plus prononcée de sa teneur en eau qui va affecter son métabolisme d'une manière importante (Tardieu et Hammer, 2012).

2. L'Etat actuelle de stress hydrique au Maroc :

Selon l'institut mondial des ressources qui a établi un rapport sur la situation des ressources hydriques de 167 pays, dont le Maroc. Le rapport indique que la situation des ressources risquait de s'aggraver d'ici les 25 prochaines années.

Les ressources hydriques du Maroc sont limitées par sa situation géographique et son exposition aux aléas climatiques. Ses ressources en eau conventionnelles sont limitées à 29 milliard de m³/an avec une capacité de retenue des barrages de l'ordre de 17,6 Md m³, Dans les années 60, la ressource par habitant était de 3000 mètres cube par an. Cette dernière est passée en 2012, à 700 mètres cube.

Le Maroc est ainsi confronté à des problèmes de gestion durable des ressources naturelles. Le coût de la dégradation de l'eau est estimé à 1,26% du PIB. L'exploitation des eaux souterraines est estimée à 955 millions de m³/an. En outre, la perte annuelle d'eau qui résulterait du changement climatique est de 94,6 M m³ (Sadiki, 2017).

3. Contrôle de stress hydrique :

Tous les agrosystèmes méditerranéens doivent faire face à la pénurie d'eau et à toute politique d'utilisation accrue de l'eau (Pereira et al., 2002). En ce sens, la culture de la grenade doit être orientée vers l'utilisation de stratégies d'irrigation déficitaires, permettant d'importantes économies d'eau et la production rentable de fruits de haute qualité.

➤ Irrigation déficitaire :

Les pénuries croissantes d'eau à travers le monde et les coûts de l'irrigation conduisent mettre l'accent sur le développement de méthodes d'irrigation qui minimisent l'utilisation de l'eau. A cet égard et durant ces dernier années plusieurs concepts d'irrigation dite « déficitaire » ont été développés.

L'irrigation déficitaire consiste à apporter un volume d'irrigation saisonnier ne satisfaisant que partiellement les besoins hydriques de la plante. L'une des techniques qui commence à faire l'objet d'une certaine diffusion est celle du déficit hydrique contrôlé Regulated déficit irrigation (RDI). Cette stratégie prévoit la réduction de l'apport d'eau aux stades phénologiques les moins critiques en termes de production et apport hydrique adéquat au cours des phases critiques.

Ceux-ci consistent à déterminer de manière raisonnée des doses d'irrigation inférieures aux besoins de confort de la plante, n'affectant ni le rendement ni la qualité de la production (Razouk, 2015).

L'irrigation déficitaire régulée est l'une des approches recommandées à moyen terme par la FAO (L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture) pour faire face au manque d'eau en agriculture. Cette technique impose un contrôle de l'intensité du déficit hydrique pendant certaine période du développement des plantes. En arboriculture fruitière ,ces périodes correspondant généralement aux phase de ralentissement de la croissance des fruits au cours desquelles les arbres sont relativement tolérant aux stress hydrique, les effets bénéfiques de la technique IDR sur le niveau de rendement ont été démontrés chez de nombreuses espèces arboricoles (Razouk, 2015).

Pour l'irrigation par Les hydrogels qui sont des polymères organiques super absorbants (PSA) en mesure de retenir des dizaines de fois leur poids en eau courante Ce réservoir d'eau supplémentaire pour le système sol-plante contribue à la diminution du stress hydrique par l'augmentation de l'eau mise à la disponibilité de la plante dans le sol (Agaba et al.2010, Goepfel 2014). Cette réserve peut être facilement transférée à l'arbre (Hüttermann et al. 1999) mitigeant ainsi les effets de sécheresse.

Avec cette méthode les lignes de goutteurs sont enfouies entre 10cm et 50cm de profondeur selon le type de culture et de sol, qu'il s'agisse d'application paysagers ou agricoles.

L'irrigation continue s'applique toute les cycles de développements avec un temps bien contrôlé chaque jour (Agriculture de Maghreb, 2019).

MATERIEL ET METHODE

I. Cadre de l'étude

Ce travail de recherche avait pour objectif global d'évaluer l'effet de deux niveaux d'irrigation déficitaire régulée à la goutte à goutte sur la qualité du fruit du grenadier, à travers l'analyse de ses propriétés physiques, chimiques et biochimiques. Il s'agit d'une contribution à un projet de recherche portant sur la promotion du grenadier dans la région de Sais comme culture alternative face aux changements climatiques, entrepris par l'INRA – Centre Régional de Meknès.

Les différentes analyses effectuées dans le cadre de ce travail ont été réalisées sur des échantillons d'arilles et de jus congelés à -20 °C, issus d'un essai d'irrigation déficitaire sur deux variétés de grenadier (Sefri et Wonderful), conduit à la station expérimentale de l'INRA à Ain Taoujdate en 2018.

II. Matériel végétal et dispositif expérimental

L'expérimentation a été menée au domaine expérimental d'Ain Taoujdate de l'INRA sur deux variétés de grenadier âgées de 5 ans : Sefri, un écotype variétal parmi les plus répandus au Maroc et Wonderful, une variété originaire d'Amérique, largement cultivée en Europe et présente en culture au Maroc. Trois régimes hydriques, correspondant à trois fractions de l'évapotranspiration de la culture (50 % ET_c, 70 % ET_c et 100 % ET_c) ont été testés de la nouaison à la maturité du fruit (Tableau 2). Notons que le calcul de l'ET_c est réalisé suivant l'équation suivante :

$$ET_c = K_r \times K_c \times ET^\circ / E_{sys}$$

K_r : coefficient de réduction

K_c : coefficients culturaux

ET[°] : l'évapotranspiration de référence climatique

E_{sys} : l'efficacité du système d'irrigation

L'irrigation a été pilotée mensuellement en utilisant les valeurs moyennes de l'évapotranspiration de référence de Penman-Monteith (ET[°]) sur 25 années calculée depuis les données de la station météorologique de l'INRA à Ain Taoujdate, les coefficients culturaux (K_c) développés en Espagne (Murcie) pour le grenadier irrigué au goutte à goutte, le coefficient de réduction (K_r) exprimant le pourcentage de couverture du sol ainsi que l'efficacité du système d'irrigation (E_{sys}).

Les doses totales d'irrigation sous les différents traitements ont été calculées en tenant compte des jours pluvieux. L'essai a été conduit en DCA (Dispositif aléatoire complet) avec 5 répétitions (5 arbres) dont le facteur variable était le régime hydrique.

Tableau 2. Valeurs mensuelles d'évapotranspiration et doses d'irrigation testées

	ET° (mm)	ETc (mm)	Irrigation 100 % (m³/ha)	Irrigation 70% (m³/ha)	Irrigation 50% (m³/ha)
Avril	104	7,8	40	28	20
Mai	124	11,0	89	62	45
Juin	145	33,2	322	225	161
Juillet	162	48,4	435	305	218
Aout	158	39,1	391	274	195
Septembre	134	24,4	171	120	85
Octobre	116	11,9	75	53	38
Total	943	175,7	1522	1066	761

(Source : Rapport d'activité de l'INRA, 2018)

III. Mesures réalisées

Les observations ont concerné des propriétés physiques (poids des arilles, teneur en jus des arilles, densité du jus), des propriétés chimiques (indice réfractométrique, pH et acidité titrable) et des propriétés biochimiques (sucres solubles, acides aminés, protéines, polyphénols, flavonoïdes, anthocyanines, tanins condensés, tanins hydrosoluble et activité antioxydante à la DPPH).

1. Mesure des propriétés physiques des arilles

1.1 Poids des arilles

Après avoir récolté le fruit, ce dernier est décortiqué et les arilles sont séparées manuellement des écorces, après elles sont pesées à l'aide d'une balance de précision.

1.2 Teneur en jus

Le jus est extrait à partir des arilles à l'aide d'une presse mécanique, centrifugé afin d'éliminer la pulpe et enfin stocké à -20 °C. Ensuite les pépins sont pesés à l'aide d'une balance de précision, alors que la teneur en jus est déterminée Par la formule suivante :

$$(\text{Poids des arilles} - \text{poids des pépins}) * 100 / \text{Poids des arilles}$$

1.3 Densité du jus

Elle est obtenue par le rapport du poids de jus en g (pesé après avoir pressé les arilles à l'aide d'une presse mécanique) sur son volume en ml.

2. Analyses chimiques du jus

2.1 L'acidité titrable (AT)

L'acidité titrable (AT) représente l'ensemble des acides organiques du jus, tels que les acides citrique, malique et tartrique. Elle est déterminée par titrage du jus par une solution titrée d'hydroxyde de sodium NaOH à 0.1 N, préparée par dissolution de 4g d'NaOH dans un litre d'eau distillée.

Le calcul du taux d'acidité titrable de jus, se fait en utilisant la relation suivante :

$$AT\% = (V * M * 0,1N * f * 100) / m$$

V : Volume, en millilitres, de la solution d'hydroxyde de sodium.

M : Masse molaire de l'acide citrique (192,43).

N : Normalité de l'hydroxyde de sodium.

F : facteur de correction (0,064)

m : masse, en milligramme, du jus.

2.2 Le pH

L'électrode du pH-mètre est plongée dans un bécher contenant 5 g de jus dilué dans 50 ml d'eau distillée. L'opération est répétée deux fois.

2.3 Le degré Brix

Le taux de solides solubles (TSS), exprimé en degré Brix, est déterminé à l'aide d'un réfractomètre. Une goutte de jus de fruit a été mise sur la plaque du réfractomètre préalablement nettoyé et séché avec l'eau distillée. Le degré Brix a été lu directement sur l'écran du réfractomètre (OCDE, 2005). Deux déterminations sont effectuées sur le même échantillon analysé.

3. Analyse biochimiques du jus

3.1 Dosage des polyphénols

Le dosage des polyphénols totaux par la méthode utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu est décrit par Singleton and Rossi (1965). Une mixture de 300 µl du jus dilué à 1/100 avec du méthanol/eau (6 :4) avec 1,5 mL du réactif Folin Ciocalteu dilue 1/10 et 1,2 ml de du carbonate de sodium à 7,5%. Le mélange est incubé pendant 90 min à l'obscurité et à température ambiante après l'absorbance est mesurée à 760 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Les résultats sont exprimés en mg d'acide gallique par litre de jus et pour l'élaboration de la courbe d'étalonnage nous avons pris 6 différentes concentrations de l'acide gallique (500-1000 mg/L).

3.2 Dosage des anthocyanes totaux

La composition en anthocyanine totaux (CAT) est estimée par la méthode du pH différentielle en utilisant deux tampons : tampon chlorure de potassium à pH 1,0 (25 mM) et le tampon acétate de sodium à pH 4,5 (0.4 M) (HMID, 2013). Ensuite, 0,4 mL de jus est mélangé séparément avec 3,6 mL de chacun des deux tampons et mesurer l'absorbance à 510 nm et 700 nm, ensuite l'absorbance est calculée comme suit :

$$\text{Abs} = (\text{Abs}_{510} - \text{Abs}_{700})_{\text{pH}1,0} - (\text{Abs}_{510} - \text{Abs}_{700})_{\text{pH}4,5}$$

Les anthocyanes totaux des échantillons, exprimées en mg de cyanidine-3- glucoside/100ml de jus, sont calculés selon l'équation suivante :

Composition en Anthocyanines Totaux = $(\text{Abs} \cdot \text{PM} \cdot \text{FD} \cdot 1000 / \text{CAM})$ Avec

Abs : absorbance ; PM : Poids moléculaire (449,2) ; FD : Facteur de dilution (10) ; CAM : Coefficient d'absorption molaire de Cyanidine-3- glucoside (26900).

3.3 Dosage des tanins hydrosolubles

Les tanins hydrolysables sont déterminés par la méthode de Willis and Allen (1998). Une mixture d'un millilitre du jus dilué à 1/20 et de 5 ml de de KIO₃ à 2,5 % sont mélangées à l'aide d'un vortex pendant dix secondes. Une absorbance maximale est obtenue après 2 min pour le jus et l'optimum de la réaction et 4 min pour la solution standard de l'acide tannique. L'absorbance est mesurée à 550 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Les résultats sont exprimés en mg d'acide tannique par litre de jus et pour l'élaboration de la courbe d'étalonnage nous avons pris 6 différentes concentrations de l'acide tannique (500-2000 mg/L).

3.4 Dosage des tanins condensés

Une solution d'acide chlorhydrique (HCl) méthanolique 1 N est effectuée avec de l'HCl à 37%. Elle servira à réaliser la solution acidifiée de DMACA à 0,1 % (w/v) qui constitue la solution de travail. Cette solution obtenue est conservée à l'abri de la lumière. Dans un tube on introduit 400 µl de jus (ou de méthanol (pour le témoin)) en présence de 2000 µl de réactif DMACA. Le milieu réactionnel est mélangé grâce à un vortex, laissé à incuber pendant 10 minutes puis analysé en spectrophotométrie à 640 nm. La concentration de l'échantillon est alors exprimée en mg de catéchine par L de jus. Une solution d'étalon de catéchine à 1g/l est préparée dans le méthanol. Les solutions filles qui seront réalisées à partir de cette dernière permettront de tracer la courbe d'étalonnage.

3.5 Dosage de flavonoïdes

Le dosage des flavonoïdes a été réalisé selon la méthode décrite par Ardestani et Yazdanparast (2007). C'est une méthode spectrophotométrie utilisant le trichlorure d'aluminium (AlCl₃) et la soude (NaOH). Le trichlorure d'aluminium forme un complexe jaune avec les flavonoïdes et la soude forme un complexe de couleur rose qui absorbe dans le visible à 510 nm.

Une mixture de 500 µl de jus est mélangée avec 1ml d'eau distillée, suivis de 150 µl d'une solution de nitrite de sodium (NaNO₂) à 15%. Après six minutes, 150 µl de trichlorure d'aluminium (AlCl₃, 6H₂O) à 10% sont ajoutés au mélange, le tout est laissé pendant six minutes. En suite 1 ml d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 4% est ajoutée, le volume final est complété immédiatement à 5 ml avec l'eau distillée. Après 15 min, la lecture est faite à 510 nm contre un blanc à l'aide d'un spectrophotomètre.

Une courbe d'étalonnage est réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires on utilisant quercétine comme contrôle positif à différentes concentrations. Les résultats sont exprimés en milligramme équivalent quercétine par litre du jus.

3.6 Dosage de protéines totales

La composition en protéines totaux (CPT) est déterminée par la méthode de Lowry et al.(1951). Les ions Cu⁺ et les radicaux du tryptophane, tyrosine et Cysteine réduisent le complexe acide phosphotungstique /acide phosphomolybdique (couleur jaune) contenu dans le réactif Folin-Ciocalteu, produisant ainsi une couleur bleue.

On mélange 1 ml d'échantillon du jus dilué à 1/20 avec de l'eau distillée et 1 ml de réactif A sont mélangés et laissés au repos pendant 10 min à température ambiante. Ensuite quatre millilitres de réactif de Folin dilué, préparé par dilution de 0,5 ml de réactif de Folin 1 N avec 4 ml d'eau distillée ont été ajoutés au mélange. La solution a été incubée pendant 5 min à 55 ± 1 °C et laissée refroidir dans un bain d'eau froide pendant 30 min. l'absorbance est mesurée à 670 nm. La teneur totale en protéines du jus a été calculée à partir d'une courbe d'étalonnage préparée avec du Sérum Albumine Bovine.

Le réactif A contient 20 g d'hydroxyde de sodium. 100 g de carbonate de sodium, 2 g de Tartrate de Potassium et de Sodium et 0,5 g de sulfate de cuivre II pentahydraté par 1000 ml d'eau distillée.

3.7 Dosage des sucres solubles totaux

Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode au phénol de DUBOIS et AL. (1956).

Dans des tubes à essais propres, on met 100 µl du jus dilué à 1/1000, on ajoute 500 µl de phénol à 5% (le phénol est dilué dans de l'eau distillée), on ajoute rapidement 2,5 ml d'acide sulfurique concentré 96% tout en évitant de verser de l'acide contre les parois du tube. On obtient, une solution jaune orange à la surface. On laisse les tubes pendant 10 min et on les place au bain-marie pendant 10 à 20 min à une température de 30°C (La couleur de la réaction est stable pendant plusieurs heures.). Les mesures d'absorbances sont effectuées à une longueur d'ondes de 485 nm. Afin de déterminer la concentration en sucre, il est nécessaire d'établir une gamme d'étalonnage. Il faut la préparer par plusieurs concentrations connues du glucose.

3.8 Dosage des acides aminés

Les acides aminés totaux ont été dosés suivant la méthode de Yemm et Cocking (1955). En effet dans un tube, ont été introduit dans l'ordre 0.5 ml d'éthanol 80%, 0.5 ml de tampon citrate (0.2 M, pH=5), 1ml de solution acétonée de ninhydrine (lg de ninhydrine dans 125 ml d'acétone), 50 µl d'extrait. Le mélange obtenu est placé au bain marie à 100 °C pendant 15 minutes. Après refroidissement, 8 ml d'eau distillée sont ajoutées et l'absorbance est lue à 570 nm contre un blanc dans lequel le jus est remplacé par l'éthanol. La teneur en acides aminés est évaluée par référence à une courbe d'étalon réalisée avec une gamme de concentration de glycine pure (0 à 1 g/l). Les teneurs sont exprimées en mg de glycine par litre de jus.

3.9 Dosage de l'activité antioxydante (Méthode DPPH)

La capacité antioxydante des jus de grenade (JG) est étudiée en utilisant l'évaluation de l'effet anti radicalaire libre des antioxydants, existant dans ces jus, sur le radicale 1,1-diphényl-2picrylhydrazine (DPPH). Cette méthode est proposée par Brand-Williams et al. (1995). En bref, 100 µl de jus de grenade diluée à 1/100 avec du méthanol : eau (6:4) ensuite, mélangé avec 2 ml de 0,1 mM DPPH préparé dans le méthanol. L'Absorbance de la solution résultante est mesurée à 517 nm par un spectrophotomètre après une incubation à

L'obscurité pendant 30 minutes. Le mélange réactionnel sans DPPH est utilisé pour la correction de fond. Les résultats sont exprimés en pourcentage d'inhibition de DPPH, comme suit :

$$\text{Capacité antioxydante (\%)} = [1 - (\text{Abs } 517 \text{ nm échantillon} / \text{Abs } 517 \text{ nm contrôle})] \times 100.$$

RESULTATS ET DISCUSSION

I. Effet de l'irrigation déficitaire sur la qualité du fruit du grenadier

1. Effet sur les propriétés physiques des arilles

Les propriétés physiques mesurées ont concerné le poids du fruit, le poids d'un arille, la teneur des arilles en jus et la densité du jus. Le tableau 5 présente la variation de ces paramètres en fonction du niveau de l'irrigation déficitaire.

Selon le tableau (tableau 5 annexe 9), l'irrigation déficitaire n'a pas influencé le poids du fruit chez la variété Wonderful. Alors que sur la variété Sefri, l'effet était significatif, particulièrement sous le régime hydrique de 50% ETc ayant entraîné une réduction significative du poids du fruit de 41% en moyenne. Cependant, sous le régime modéré de 70% ETc, le poids du fruit de Sefri est resté inchangé, comparativement à l'irrigation à la demande (100% ETc).

Le poids moyen d'un arille n'a pas diminué sous l'effet du déficit hydrique même en présence de variation significative pour le poids du fruit de la variété Sefri sous le régime hydrique de 50% ETc. Ce résultat indique que les petits fruits de grenadier, produits sous stress hydrique, renferment des arilles de mêmes taille que les grands fruits bien que leur nombre soit varié.

Les arilles produits sous stress hydrique étaient moins juteux, approuvé par la diminution significative de leur teneur en jus et l'augmentation de leur matière sèche. En effet, sous régime hydrique de 50% ETc, la diminution en termes de teneur en jus était de 27 et 30% respectivement pour Wonderful et Sefri, comparativement à une irrigation complète (100% ETc). Toutefois, le régime de 70% ETc n'a fait diminuer la teneur en jus que sur Wonderful d'une moyenne de 15% (Figure 8). Notons que l'augmentation de la teneur en matière sèche des arilles sous l'effet du déficit hydrique serait liée principalement à l'augmentation de la taille du pépin plutôt qu'à l'augmentation de solutés dans le jus, comme indiqué par la non-signification de l'analyse de variance pour la densité du jus.

(Les bâtonnets marqués de différentes lettres sont statistiquement différents suivant le test de Student au seuil de 95%)

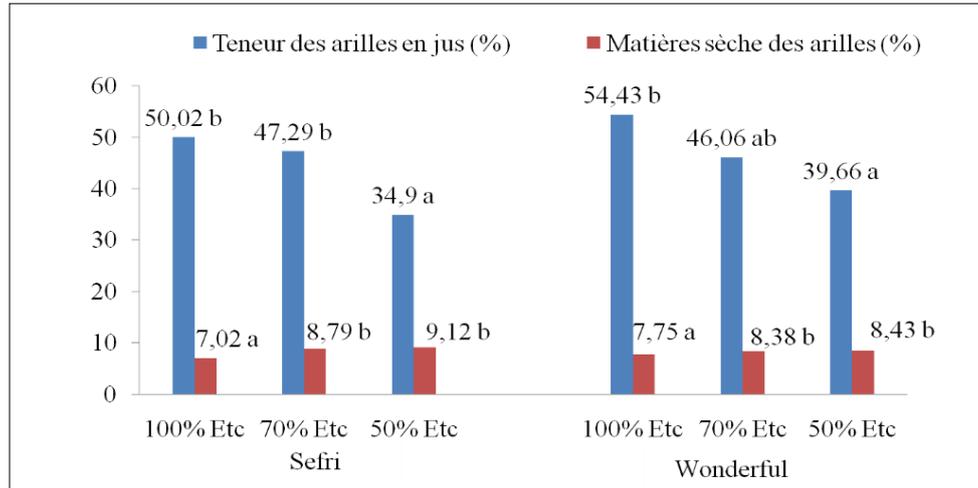


Figure 8. Teneur en jus et matière sèche des arilles sous les différents régimes d'irrigation déficitaire pour les deux variétés de grenadier, Sefri et Wonderful

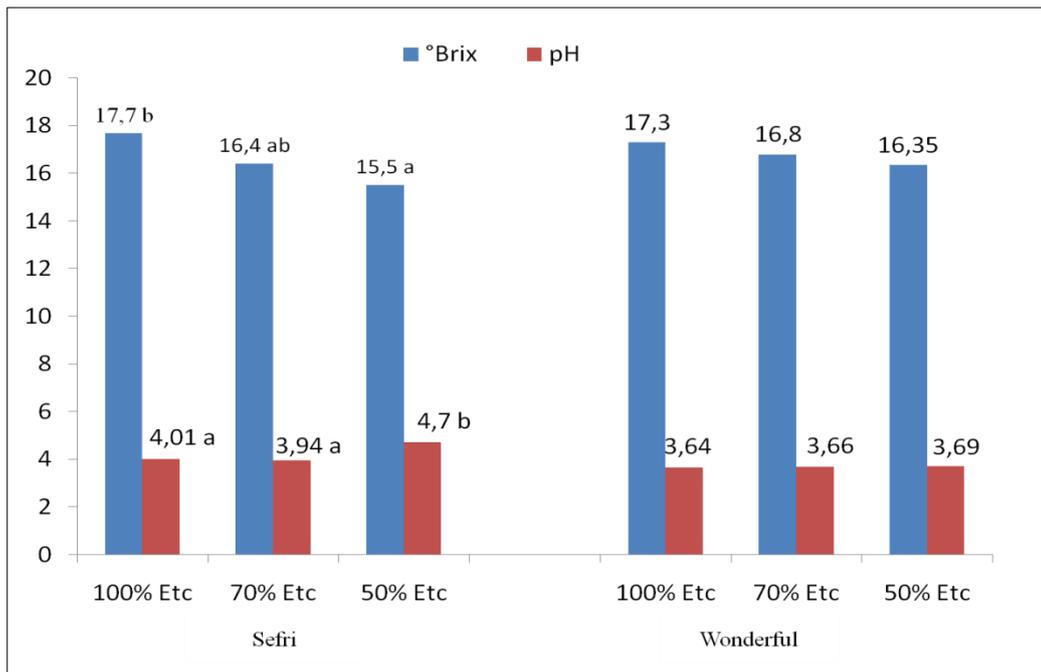
2. Effet sur les propriétés chimiques du jus

L'évaluation de l'effet de l'irrigation déficitaire sur les paramètres chimiques du jus de grenade a été réalisée à travers la mesure du pH, l'indice réfractométrique (°Brix) et l'acidité titrable. Le tableau 6 (annexe 10) présente l'analyse de variance de ces paramètres.

Selon le tableau (tableau 6 annexe 10), il est constaté que seul le jus de la variété Sefri est affecté en termes des paramètres chimiques. Alors que les paramètres chimiques du jus de Wonderful ont resté statistiquement inchangés en passant de l'irrigation complète à l'irrigation déficitaire.

Les effets de l'irrigation déficitaire pour la variété Sefri étaient significatifs pour le degré Brix et le pH. Alors que l'acidité titrable n'a pas été variée. Le régime déficitaire de 70% ETc a induit, sur cette variété, une réduction du degré Brix du jus de 1.3 °Brix contre 2.2 °Brix sous le régime de 50% ETc. Concernant les valeurs du pH, elles ont été augmentées sous irrigation à 50% ETc, alors qu'elles n'ont pas été affectées par le régime hydrique modéré de 70% ETc (Figure 2).

De ces faits, il ressort que l'irrigation déficitaire, même à un niveau modéré de 70% ETc, induit une certaine dégradation du goût du jus de Sefri, marquée par une diminution de goût sucré (°Brix) associé à une augmentation du goût acidulé (pH). Cependant, les propriétés du jus de Wonderful restent non affectées.



(Les bâtonnets marqués de différentes lettres sont statistiquement différents suivant le test de Student au seuil de 95%)

Figure 9. Variation du degré Brix et du pH du jus du grenadier sous les différents niveaux d'irrigation déficitaire

3. Effet sur les propriétés biochimiques du jus

Les paramètres biochimiques mesurés sur le jus du grenadier ont été différemment affectés suivant la variété et le niveau du régime hydrique. Le tableau 7 (annexe 11) montre la comparaison des moyennes suivant le test statistique de Student-Newman et Keuls au seuil de 5%.

3.1 Les sucres solubles totaux

Le déficit hydrique a entraîné une diminution de la teneur des sucres solubles totaux (SST) du jus de grenade. Chez la variété Wonderful, leur diminution a été significative avec une irrigation déficitaire sévère de 50% ETC, selon le test de comparaison des moyennes SNK, avec une moyenne de 9% comparativement au traitement témoin (100%ETC). Cependant, pour la variété Sefri, les SST ont diminué significativement en teneur dès l'application d'un déficit hydrique modéré de 70% ETC, d'une moyenne de 11%. Ce taux de diminution de la teneur des SST a été enregistré également sous irrigation déficitaire de 50% ETC.

Ce résultat semble contradictoire avec les travaux entrepris sur d'autres espèces telle le pêcher, et prunier (Razouk, 2015), sur lesquelles il a été observé plutôt une augmentation de ces composés bioactifs sous déficit hydrique. Ces différences peuvent être liées à la nature botanique des parties analysées des fruits, dans lesquelles les métabolismes de biosynthèse et d'accumulation des réserves sont différents. En effet, dans le cas des pêches et des prunes, la partie analysée était la pulpe correspondant au mésocarpe du fruit. Alors que pour les grenades, la partie analysée correspond à la graine (organe de multiplication).

(Les bâtonnets marqués de différentes lettres sont statistiquement différents suivant le test de Student au seuil de 95%)

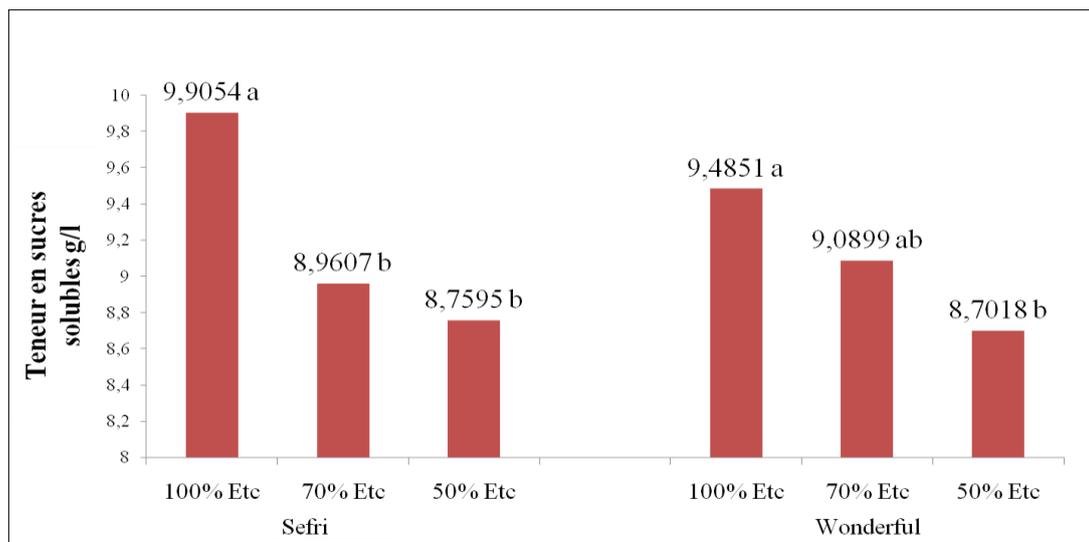


Figure 10. Variation de la teneur en sucres solubles totaux du jus de grenade sous les différents niveaux de l'irrigation déficitaire

3.2 Acides aminés totaux

La teneur en acides aminés totaux (AAT) contenue dans le jus n'a été affectée par le déficit hydrique que chez la variété Wonderful. Chez celle-ci, la teneur en AAT a été significativement affectée par un déficit hydrique de 50% ETc en enregistrant une diminution de 49% en moyenne comparativement à une irrigation à 100% ETc. Cependant, l'effet était non significatif sous un déficit de 70% ETc. Donc, l'effet du déficit hydrique sur les acides aminés n'a été marqué que sous déficit hydrique sévère. Cela pourrait indiquer qu'ils font partie du métabolisme d'adaptation au manque d'eau (biosynthèse des osmoprotecteurs).

(Les bâtonnets marqués de différentes lettres sont statistiquement différents suivant le test de Student au seul de 95%)

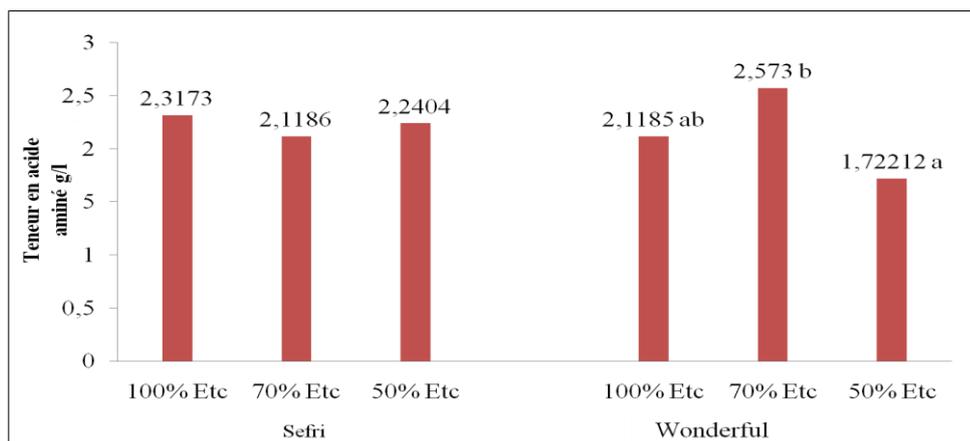
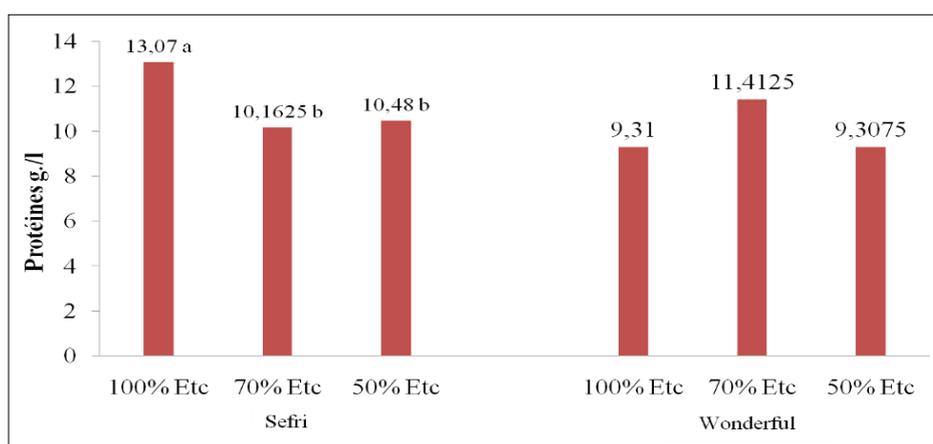


Figure 11. Variation de la teneur en acides aminés totaux du jus de grenade sous les différents niveaux de l'irrigation déficitaire

3.3 Les protéines

Les résultats ont montré que les protéines contenues dans le jus de grenade ont tendance à diminuer sous déficit hydrique. Les diminutions relevées sur Wonderful n'étaient pas très considérables. Toutefois, pour la variété Sefri, celles-ci étaient significatives, selon le test de comparaison des moyenne SNK. En effet, les deux régimes d'irrigation déficitaires ont entraîné une diminution de la teneur en protéine d'une même ampleur, de 25% en moyenne. Donc, la qualité du jus de la variété Sefri est plus détériorée par le déficit hydrique, en termes de richesse en protéines.



(Les bâtonnets marqués de différentes lettres sont statistiquement différents suivant le test de Student au seul de 95%)

Figure 12. Variation de la teneur en protéines du jus de grenade sous les différents niveaux de l'irrigation déficitaire

3.4 Composés phénoliques, anthocyanines et flavonoïdes

L'analyse des composés phénoliques du jus a concerné leur teneur totale ainsi que leurs principales fractions, à savoir : les flavonoïdes et les anthocyanines. L'analyse de variance de leurs moyennes, présentée dans le tableau 7 (annexe 11), montre que le déficit hydrique n'a affecté que la teneur en flavonoïdes chez la variété Wonderful. Comparativement au traitement témoin (100% ETc), celle-ci a diminué de 15% avec l'application du régime de 70% ETc et de 30% sous le régime de 50% ETc.

Le déficit hydrique n'a pas affecté la teneur du jus en anthocyanes. Cela implique que l'intensité de la coloration rougeâtre du jus de grenade n'est pas influencée par le déficit hydrique. Celle-ci est plutôt définie par la variation génotypique. En effet, il est remarqué que le jus issu de la variété Wonderful renferme plus de 3 fois la teneur anthocyanes contenue dans le jus de la variété Sefri, ce qui explique la couleur rouge foncée de son jus.

(Les bâtonnets marqués de différentes lettres sont statistiquement différents suivant le test de Student au seuil de 95%)

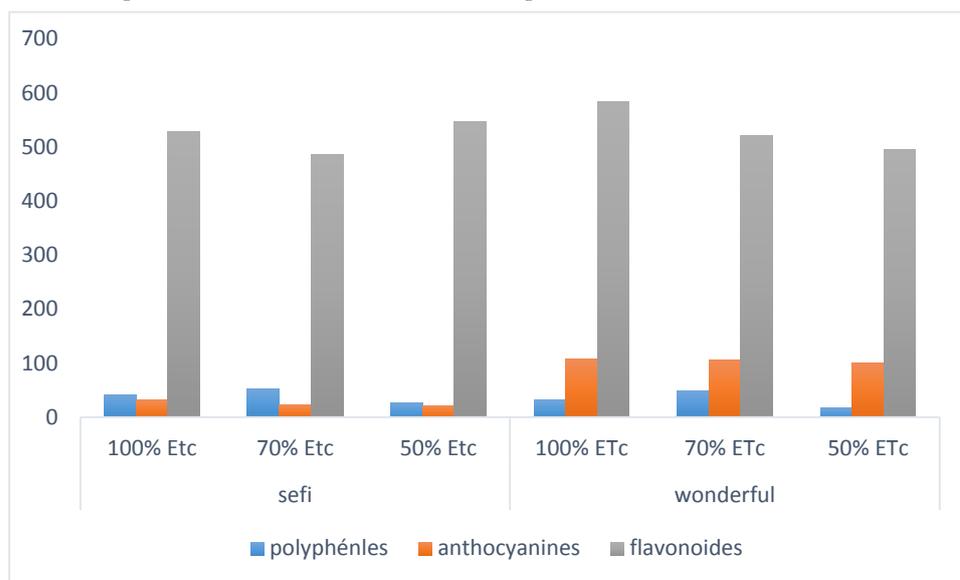


Figure 13 : Variation de la teneur du jus en polyphénols, les anthocyanines et les flavonoïdes sous les différents niveaux de l'irrigation déficitaire

3.5 Les tanins condensés et hydrosolubles

Les valeurs rencontrées montrent que le jus de la variété Sefri est plus riche en tanins, condensés et hydrosolubles, que celui de la variété Wonderful. Sous irrigation complète de 100%

ETc, la différence entre les deux variétés était de 50% en moyenne pour les tanins condensés et de 35% pour les tanins hydrosolubles. Compte tenu de la qualité hydrosoluble et volatile des tanins et de leur implication dans la formation de la qualité sensorielle des aliments, ce résultat peut indiquer que le jus de la variété Sefri est plus aromatisé et odorant que celui issu de Wonderful.

L'effet du déficit hydrique sur la teneur en ces composés bioactifs n'a été significatif que chez la variété Sefri. Les évolutions enregistrées ont montré que le déficit hydrique induit une diminution du taux de tanins condensés associée à une augmentation des hydrosolubles. En effet, la teneur en tanins condensés a été diminuée de 18% sous le régime hydrique déficitaire de 50% ETc. Cependant, la teneur des tanins hydrosolubles a été augmentée d'une moyenne de 63% pour les deux régimes d'irrigation déficitaire et ce en comparaison avec l'irrigation à la demande (100% ETc).

(Les bâtonnets marqués de différentes lettres sont statistiquement différents suivant le test de Student au seuil de 95%)

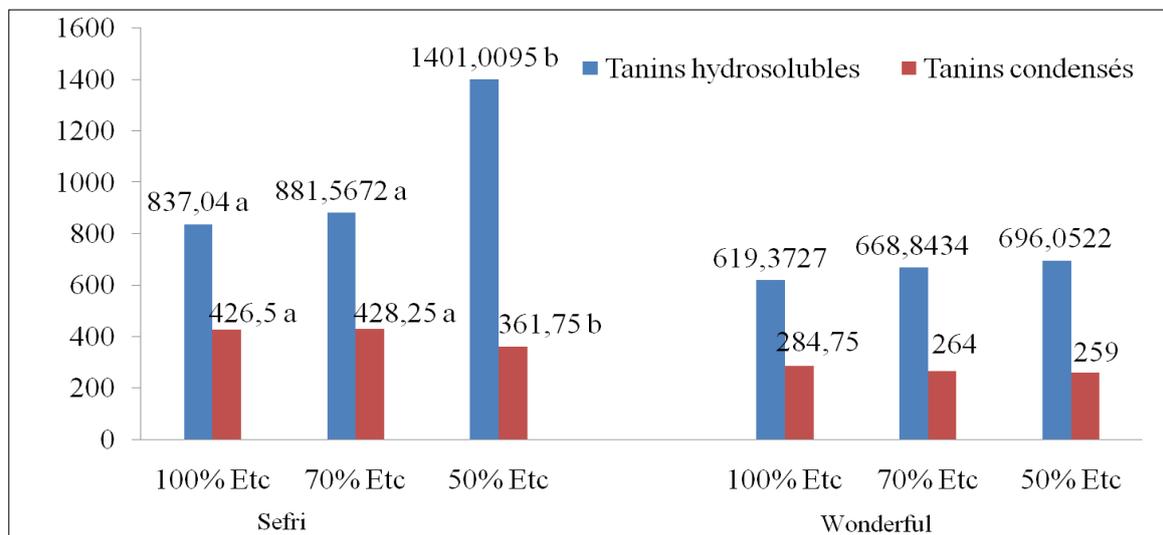


Figure 14. Variation de la teneur du jus de grenade en tanins condensés et hydrosolubles sous les différents niveaux de l'irrigation déficitaire

3.6 Activité antioxydante

L'activité antioxydante du jus de grenade a été évaluée par le test au radical DPPH. Les résultats obtenus ont montré que celle-ci n'a pas été influencée par le niveau d'irrigation. Les valeurs enregistrées ont montré plutôt une certaine supériorité en termes de ce paramètre pour le jus issu de la variété Wonderful, dépassant la valeur enregistrée dans le jus de Sefri d'environ 10% pour un niveau d'irrigation fixe.

(Les bâtonnets marqués de différentes lettres sont statistiquement différents suivant le test de Student au seuil de 95%)

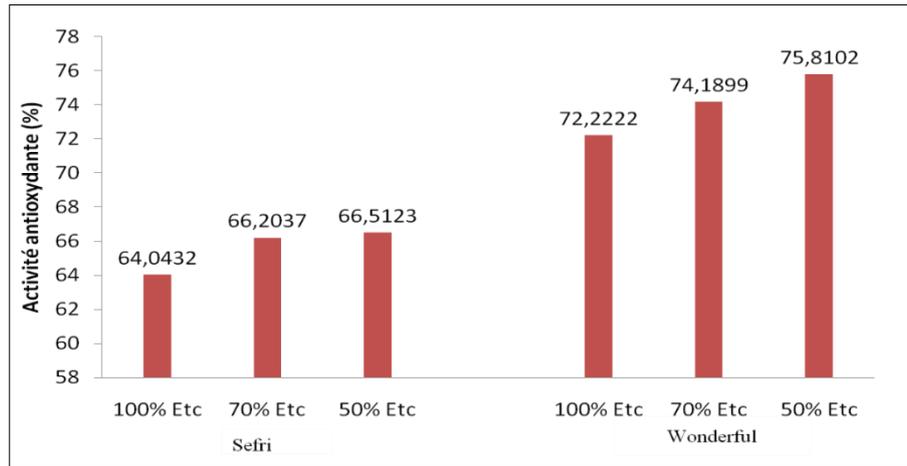


Figure 15. Variation du taux de réduction du radical DPPH du jus de grenade sous les différents niveaux de l'irrigation déficitaire

4. Corrélation entre les paramètres biochimiques étudiés

Tableau 3 : Degré de corrélation entre les différents paramètres physiologiques

	Code	Teneur des arilles en jus %	Densité du jus	MS Arille (%)	Poids arille (mg)	g E Acide citrique/100 ml de jus	PH	Brix	mg EGlycine /l de jus	Capacité antioxydante (%)	Mg Cytosine 3 glycoside /100ml de jus	Mg quercetine /L de jus	g E Acide gallique/L de jus	G E Serum albumine Bovine	gEG/1 de jus	mg Caréchine/L de jus	mg E Acide tannique/L de jus
Code	1	.923*	.004	-.836*	-.661	.083	-.374	.909*	.325	-.283	.092	.496	.391	.391	.947**	.245	-.471
Teneur des arilles en jus %		1	-.194	-.720	-.769	.336	-.635	.879*	.225	-.050	.283	.327	.488	.161	.778	.091	-.698
Densité du jus			1	.089	.449	-.968**	.742	-.194	.170	-.956**	-.995**	.327	.310	.464	.139	.952**	.708
MS Arille (%)				1	.376	-.067	.424	-.948**	-.144	.148	-.179	-.304	-.122	-.527	-.928**	-.123	.529
Poids arille (mg)					1	-.546	.552	-.589	-.585	-.232	-.513	-.497	-.519	-.089	-.495	.282	.576
g E Acide citrique/100 ml de jus						1	-.806	.229	-.187	.911*	.949**	.199	-.185	-.556	-.118	-.374*	-.768
PH							1	-.615	.137	-.652	-.784	.117	-.168	.191	-.229	.512	.993**
Brix								1	.228	-.050	.290	.245	.338	.450	.906**	.069	-.703
mg EGlycine/l de jus									1	-.288	-.124	.252	.688	.672	.391	.170	.106
Capacité antioxydante (%)										1	.925**	-.018	-.376	-.561	-.403	-.960**	-.590
Cytosine 3 glycoside /100ml de jus											1	.228	-.255	-.403	-.042	-.922**	-.759
Mg E quercetine /L de jus												1	-.241	-.070	.419	-.215	.058
g E Acide gallique/L de jus													1	.498	.352	.462	-.176
G E Serum albumine Bovine														1	.631	.507	.115
gEG/1 de jus															1	.343	-.341
mg E Caréchine/L de jus																1	.464

* :Corrélation significative au seuil de 95%

** : Corrélation hautement significative de 99

Selon la matrice, il apparaît qu'on a deux types de corrélations positives et négatives. Concernant les corrélations positives, on trouve que le degré de Brix est corrélé significativement avec la teneur en jus et les sucres solubles totaux avec des degrés de corrélation respectivement de 0,879 et 0,906, l'activité antioxydante est corrélée significativement avec l'acidité titrable d'un degré de 0,911. Ainsi que les anthocyanes sont hautement corrélés significativement avec l'acidité titrable et l'activité antioxydante avec des degrés de corrélation respectivement de 0,969 et 0,925. En outre les tanins hydrosolubles sont hautement corrélés significativement avec le pH d'un degré de 0,993 et les tanins condensés avec la densité du jus avec une valeur de 0,952. Concernant les corrélations négatives, on trouve que les tanins condensés sont corrélés significativement avec l'acidité titrable et hautement corrélés significativement avec l'activité antioxydante et les anthocyanes des degrés de corrélation respectivement de -0,876, -0,960 et -0,922. Ainsi que la densité du jus est hautement corrélée significativement avec les anthocyanes, l'activité antioxydante et l'acidité titrable avec des degrés de corrélation respectivement de -0,995, -0,956 et -0,968, également pour la matière sèche des arilles avec le degré de Brix et les sucres solubles totaux avec des degrés de corrélation respectivement de -0,948 et -0,928.

Conclusion et Recommandations

L'efficacité de la technique d'irrigation déficitaire régulée pour la culture du grenadier ne peut être évaluée qu'à travers une étude globale impliquant les paramètres de production, de croissance et de qualité du fruit sur une période de 3 à 4 années. Le présent rapport de stage constitue une contribution à ce travail, ayant intéressé l'évaluation de la qualité du fruit de deux variétés (Sefri et Wonderful) sous trois régimes hydriques, à savoir : 100, 70 et 50% de l'évapotranspiration de la culture (ETc), appliqués sur toute la période de croissance du fruit (Mai – Octobre).

En guise de conclusion des résultats obtenus, il a été noté que l'effet du déficit hydrique sur la qualité du fruit du grenadier varie en fonction de son intensité et de la variété. Chez la variété Sefri, le déficit hydrique induit globalement une détérioration de la qualité du fruit, même à une intensité modérée de 70% ETc. Les effets sont très considérables sur cette variété sous un régime hydrique de 50% ETc, marqués par des diminutions en termes de calibre du fruit, teneur en jus des arilles, goût sucré du jus (°Brix) et teneurs en certains composés biochimiques (sucres solubles, protéines et tanins condensés). Le seul effet positif du stress hydrique sur la qualité du jus de cette variété concerne l'augmentation de la concentration des tanins hydrosolubles. Chez la variété Wonderful, le déficit hydrique au seuil de 50% ETc n'affecte ni le calibre de son fruit ni le goût sucré de son jus. Toutefois, une détérioration modérée de la qualité du fruit pour cette variété est notée concernant la teneur en jus des arilles ainsi que la concentration des sucres solubles et celle des flavonoïdes.

Compte tenu des résultats obtenus, il paraît donc qu'aucun régime de l'irrigation déficitaire régulée testé n'est prometteur pour l'obtention de grenades de qualité tout en économisant l'eau d'irrigation. Pour valoriser la culture du grenadier au Maroc et pour conserver notre trésor hydrique, on peut donc développer ce travail à travers le test d'autres variétés, l'application du déficit hydrique pendant d'autres stades de développement du fruit et aussi le suivi d'autres paramètres.

Références bibliographiques

- Afaq, F., Saleem, M., Krueger, C.G., Reed, J.D., Mukhtar, H., 2005.**Anthocyanin- and hydrolyzable tannin-rich pomegranate fruit extract modulates MAPK & NF-kappaB pathways and inhibits skin tumorigenesis in CD-1 mice. *Int. J. Cancer.* 113(3), 423-433.
- Agaba H, Baguma Orikiriza LJ, Esegu O, Francis J, Obua J, Kabasa JD, Hüttermann A, 2010.** Effects of hydrogel amendment to different soils on plant available water and survival of trees under drought conditions. *Clean–Soil, Air, Water*, 38(4): 328-335
- Agriculture du Maghreb**, N° 119-Avril 2019, Page 116.
- Aleksandrov, A.D., 1950.** The pomegranate. *Sad I ogorod N° 2*, pp. 9-40 (In Russian).
- Ashraf, M. (2010).** Inducing drought tolerance in plants: Recent advances. *Biotechnology Advances*, 28, 169-183.
- BÄRTELS A.** - Guide des plantes du bassin méditerranéen - . Editions Ulmer. 1998. 352.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M., Berset, C., 1995.** Use of a free radical method to evaluate antioxidant capacity. *Food Sci. Technol.* 28(1), 25-30.
- BRUNETON J.** - Pharmacognosie - Phytochimie - Plantes médicinales - . Editions Tec Doc. 1999. 860.
- CAZIN F.** - Traité pratique et raisonné des plantes médicinales indigènes et acclimatées - . Editions de l'envol. 1868. 497-501.
- Chalmers, D.J., Mitchell, P.D., & van Heek, L. (1981).** Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density and summer pruning. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 106, 307-312.
- Chaves M.M., Maroco J.P., Pereira J.S. (2003)** Understanding plant responses to drought - from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology* 30:239-264.
- Costa, J.M., Ortuno, M.F. & Chaves, M.M. (2007).** Deficit Irrigation as a Strategy to Save Water: Physiology and Potential Application to Horticulture. *Journal of Integrative Plant Biology* 49, 1421-1434.

COURCHET L. - Traité de botanique : comprenant l'anatomie et la physiologie végétales et les familles naturelles, à l'usage des candidats au certificat d'études physiques, chimiques et naturelles des étudiants en médecine et en pharmacie - . Editions Baillière. 1897. 1019-1023.

Dubois M. K. A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers, and Fred Smith (1956). Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. Analytical Chemistry, volume 28 (3) 350-356.

EVREINOFF V. 1957 - Contribution à l'étude du Grenadier - . Journal d'agriculture tropicale et de botanique appliquée. 1957. 124-138.

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. J. Agric. Food Chem. 48 (10), 4581-4589.

GODET J. 1991. - Arbres et arbustes aux quatre saisons - . Les guides pratiques du naturaliste Editions Delachaux et Niestlé. 1991. 96 et 170.

Hernandez, F., Melgarejo, P., Tomas-Barberan, F.A., Artes, F., 1999. Evolution of juice anthocyanins during ripening of new selected pomegranate (*Punica granatum*) clones. Eur. Food Res. Technol. 210, 39-42.

HMID I., 2013- Contribution à la valorisation alimentaire de la grenade marocaine (*Punica Granatum L.*): Caractérisation physicochimique, biochimique et stabilité de leur jus frais. Thèse *Doc. Sci. Agro., France, 177 p.

Holland, D., Hatib, K., Bar-Ya'akov, I., 2009. Pomegranate: botany. Horticulture. Breeding. Horticultural Reviews. 35, 127-191.

Hüttermann A, Zommodi M, Reise K, 1999. Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of *Pinus halepensis* seedlings subjected to drought. Soil & Tillage Research 50. 295-304

Katerji N., Tardieu F., Bethenod O., Quetin P. (1994). Behavior of maize stem diameter during drying cycles : comparison of two methods for detecting water stress. Crop Science, vol. 34, pp. 165-169.

Lansky, E.P., Newman, R. A., 2007. *Punica granatum* (pomegranate) and its potential for prevention and treatment of inflammation and cancer. J. ethnopharm. N°109. Pages 177-206.

Lowry, O.H., Rosenbrough, N.J., Farr, A.L., Randall, R.J., 1951. Protein measurement with the Folin Phenol reagent. J. Biol. Chem. 193, pp. 265- 275.

- MAPM, 2012.** Repartition regionale de la superficie et de la production du grenadier. Rabat. Morocco: Ministry of Agriculture of Morocco.
- Melgarejo, P., 1993.** Seleccin y tipificacion varietal de granado (*Punica granatum L.*) [Ph.D. thesis]. Valencia. Spain: Univ. Politecnica de Valencia (UPV).
- Melgarejo, P., Salazar, D.M., Artes, F., 2000.** Organic acids and sugars of harvested pomegranate fruits. *Eur. Food Res. Technol.* 211, 185-190
- Melgarejo, P., Valero, D., 2012.** Series A: Mediterranean Seminars. N° 103. Spain.
- Melgarejo, P., Salazar, D.M.S., 2003.** Tratado De Fruticultura Para Zonas Aridas Y Semi-aridas. Vol. 2: Algarr. 416 p.
- 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. *J. Sci. Food Agric.* 91, 1893–1906.
- OECD. 2008.** OECD Guideline for the testing of chemicals No. 425: Acute Oral Toxicity– Up-and-Down-Procedure (UDP), 8 pp. Paris, France
- PLANCHON G ; COLLIN E. -** Traité pratique de la détermination des drogues simples d'origine végétale - . Librairie F. Savy. 1875. Tome I 235-236 et 307-308.
- Tomas-Barberan, F.A., Gil, M.I., 2008.** Improving the health-promoting properties of fruit and vegetable products. *Technology and Nutrition No. 157.* CEBAS (CSIC). Spain.
- Quiroz, I., 2009.** Granados, perspectivas y oportunidades de un negocio emergente: Antecedentes de Mercado. Fundacion Chile.
- ROZIER F. -** Démonstrations élémentaires de botanique [à l'usage de l'Ecole royale vétérinaire de Lyon] - . Chez Bruyset. 1787.
- Sanchez-Capuchino, V., 1986.** Rotulacion une 1034-1. TEBAR. ISBN 9788473600743.
- Walali Loudyi D.** Quelques espèces fruitières d'intérêt secondaire cultivées au Maroc. In: Llácer G. (ed.), Aksoy U. (ed.), Mars M. (ed.). *Underutilized fruit crops in the Mediterranean region.* Zaragoza : CIHEAM, 1995. p. 47 -62(Cahiers Options Méditerranéennes; n. 13).
- Willis, R. B., Allen, P.R., 1998.** Improved method for measuring hydrolysable tannins using potassium iodate. *The Analyst.* 123, 435–439.

Annexes

Annexe 1 :

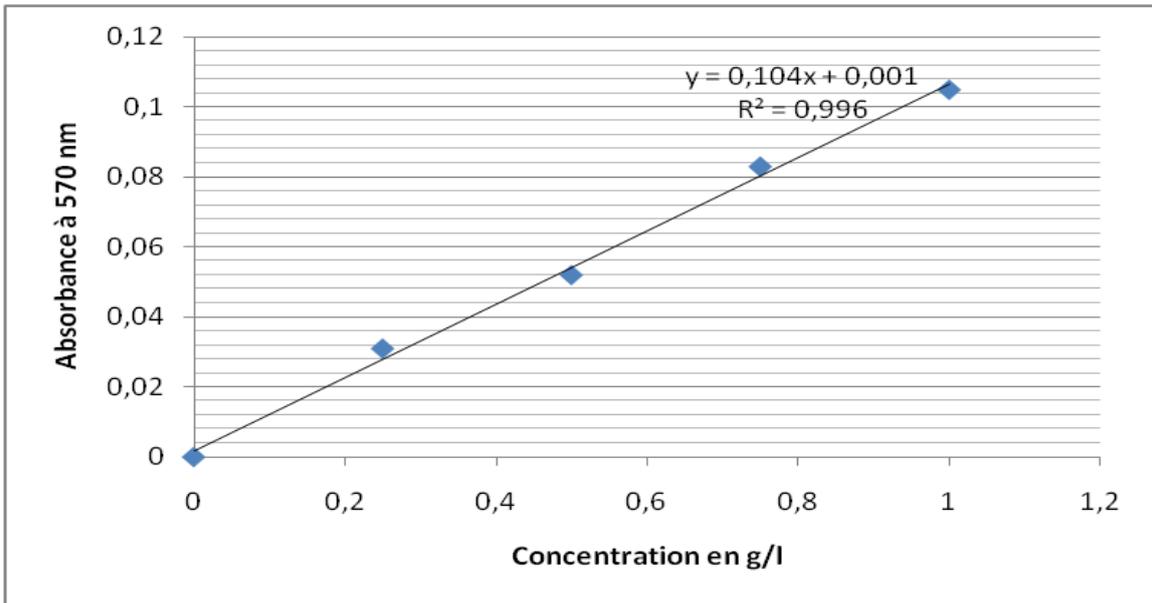


Figure 18 : courbe d'étalonnage de glycine

Annexe 2 :

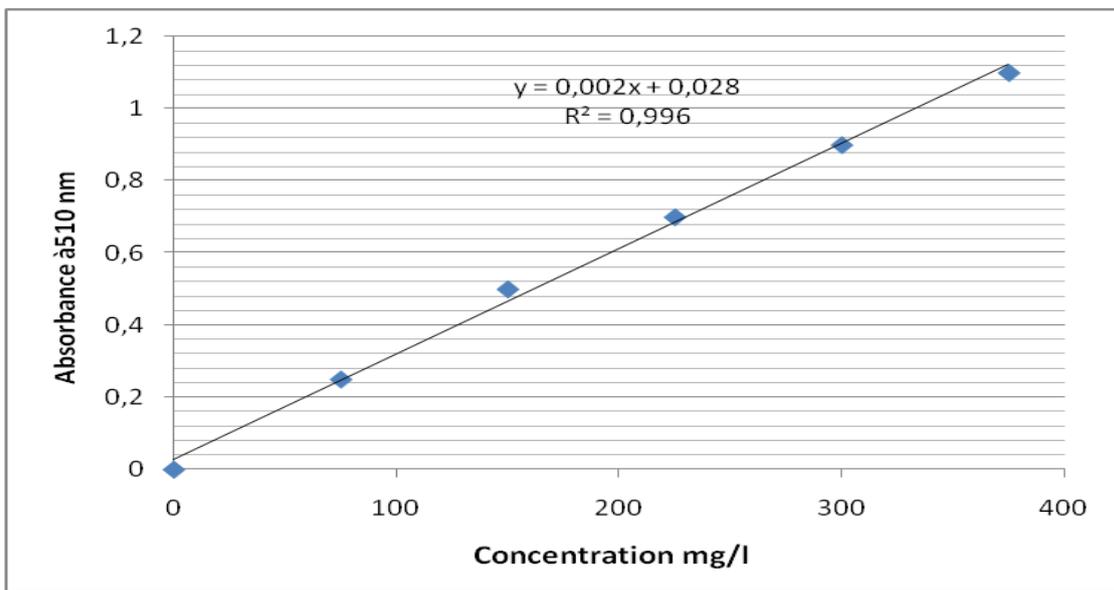


Figure 19 : courbe d'étalonnage de quercetine

Annexe 3 :

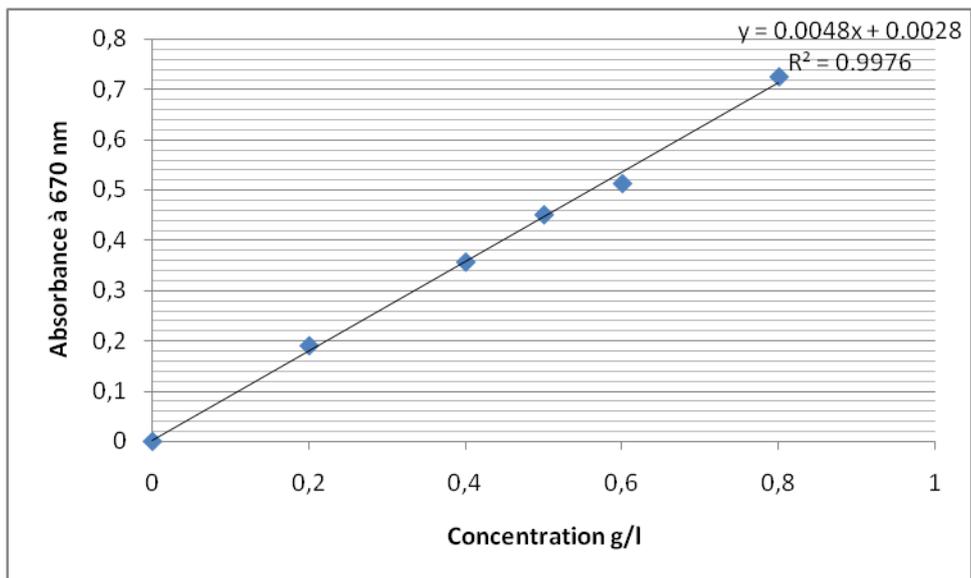


Figure 20 : Courbe d'étalonnage de Sérum albumine bovin

Annexe 4 :

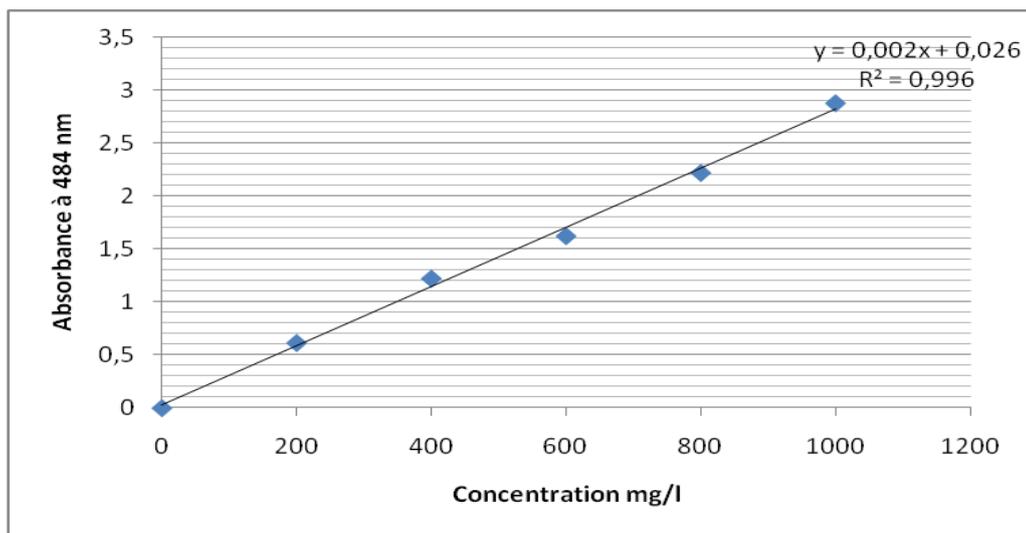


Figure 21 : Courbe d'étalonnage de glucose

Annexe 5 :

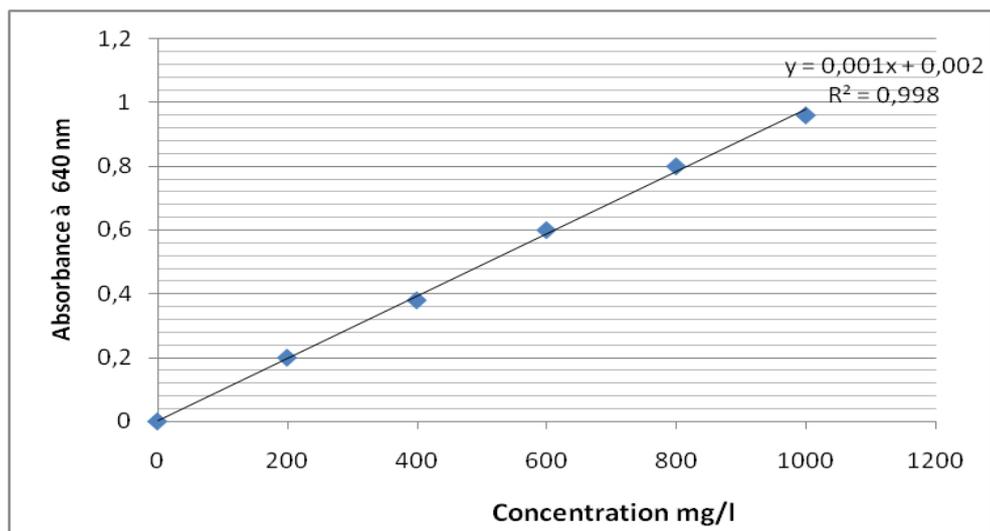


Figure 22 : courbe d'étalonnage de catéchine

Annexe 6 :

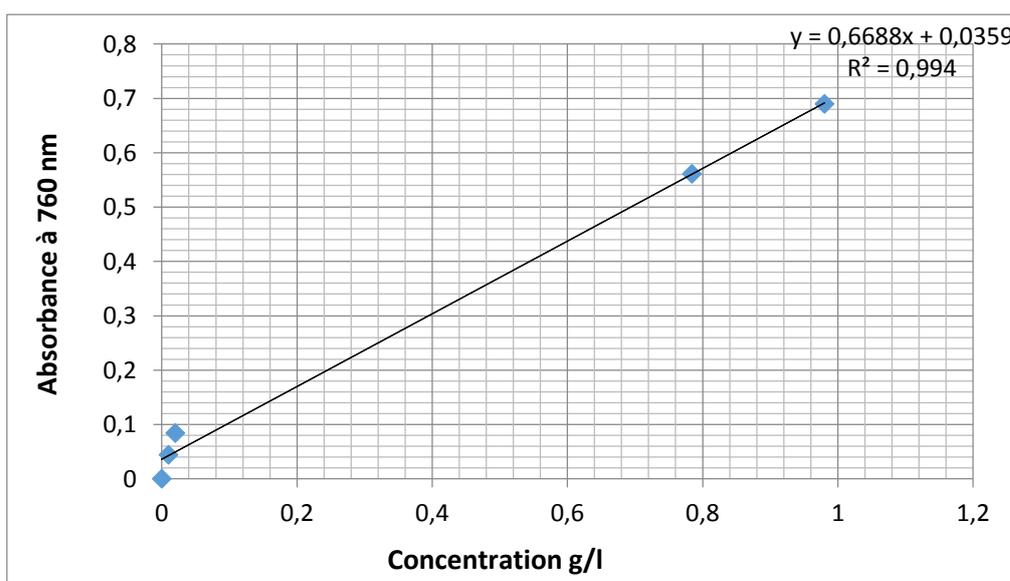


Figure 23 : courbe d'étalonnage d'acide gallique

Annexe 7 :

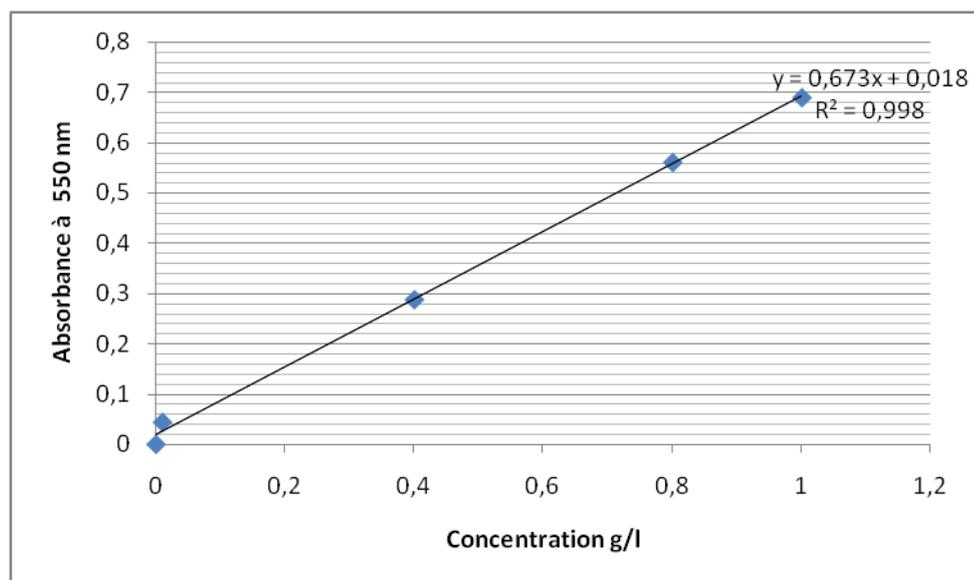


Figure 24 : courbe d'étalonnage d'acide tannique

Annexe 8 :

Tableau 4 : Composition du jus de grenades en acides organiques, en sucres et en minéraux (mg/100 g de la partie comestible du fruit).

	Composés	Quantité
Acides organiques (Melgarejo et al., 2000)	Acide citrique	0,09-0,32
	Acide malique	0,10-0,21
	Acide oxalique	0,01-0,07
	Acide tartrique	0,01-0,05
	Acide fumarique	0,01
Sucres (Melgarejo et al., 2000)	Fructose	5,54-8,24
	Glucose	5,53-7,80
	Saccharose	0,01-0,07
Minéraux et métaux lourds (codex alimentarius, 2009)	Phosphor	0,30
	Fer	259,00
	Potassium	3,00
	Calcium	3,00
	Sodium	3,00
	Manganese	0,12
	Magnésium	0,15
	Cuivre	0,07
	Sélénium	0,60
Vitamines (codex alimentarius, 2009) (Tehranifar et al., 2010)	Vitamine B1	0,03
	Vitamine B2	0,03
	Vitamine C	9,90-17,60

Annexe 9 :

Tableau 5. Effet des différents régimes hydriques sur les paramètres physiques des arilles du grenadier

Variété	Régime hydrique	Poids du fruit* (g)	Poids de l'arille (mg)	Teneur des arilles en jus (%)	Matière sèche des arilles (%)	Densité du jus
Sefri	100% ETc	281.39 b	339.50	50.02 b	7.02 a	1,05
	70% ETc	246.91 b	340.83	47.29 b	8.79 b	1,06
	50% ETc	164.66 a	357.50	34.90 a	9.12 b	1,05
	CV (%)	3596,64	100,60	64,93	1,27	3,33
	Ecartype	59,97	10,03	8,06	1,13	0,01
	100% ETc	209.40	308.16	54.43 b	7.75 a	1,05
Wonderful	70% ETc	208.01	310.83	46.06 ab	8.38 b	1,08
	50% ETc	198.25	362.25	39.66 a	8.43 b	1,04
	CV (%)	59,97	929,47	54,86	0,14	0,0004
	Ecartype	6,07	30,49	7,41	0,38	0,02
	100% ETc	209.40	308.16	54.43 b	7.75 a	1,05

Les moyennes suivies des mêmes lettres ou non marquées sont statistiquement égales suivant le test de Student-Newman et Keuls au seuil de 95% ; * : mesure réalisée à la récolte en mois d'octobre 2018 par l'équipe d'agrophysiologie à l'INRA de Meknès

Annexe 10 :

Tableau 6. Effet des différents régimes hydriques sur des paramètres chimiques du jus du grenadier

Variété	Régime hydrique	°Brix	Acidité titrable (%)	pH
Wonderful	100% ETc	17,30	0,13	3,64
	70% ETc	16,80	0,12	3,66
	50% ETc	16,35	0,12	3,69
Sefri	100% ETc	17,70 b	0.09	4,01 a
	70% ETc	16,40 ab	0.08	3,94 a
	50% ETc	15,50 a	0.08	4,70 b

Les moyennes suivies des mêmes lettres ou non marquées sont statistiquement égales suivant le test de Student au seuil de 95%.

Annexe 11

Tableau 7. Effet des différents régimes hydriques sur des paramètres biochimiques du jus du grenadier

Régimes	Sefri			Wonderful		
	R100	R70	R50	R100	R70	R50
Sucres solubles totaux (g/l)	9,90 a	8,96 b	8,75 b	9,48 a	9,08 ab	8,70 b
Acides aminés totaux (g/l)	2,31	2,11	2,24	2,11ab	2,57 b	1,72 a
Protéines (g/l)	13,07 a	10,16 b	10,48 b	9,31	11,4125	9,30
Polyphénols totaux (g/l)	41,84	52,08	26,52	31,76	48,99	17,94
Anthocyanines (mg/100ml)	32,14	23,67	21,84	106,98	104,99	99,69
Flavonoïdes (mg/l)	528,25	486,25	547,25	584,00 b	520,25 a	494,25 a
Tanins hydrosolubles (mg/l)	837,04 a	881,56 a	1401,00 b	619,37	668,84	696,05
Tanins condensés (mg/l)	426,50 a	428,25 a	361,75 b	284,75	264,0000	259,0000
Capacité antioxydantes (%)	60.04	66.20	66.51	72.22	74.18	75.81

R100 = 100% ETc ; R70 = 70% ETc ; R50 = 50% ETc

Les moyennes suivies des mêmes lettres sont statistiquement égales suivant le test de Student au seuil de 95%.