

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA -Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Sciences Alimentaires
Spécialité Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire



Réf :

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du Diplôme

MASTER

Thème

**Etude de l'effet de stockage sur les
substances bioactives de safran**

Présenté par :

ALMA YASMINE & HACHEMI YASMINE

Soutenu le : **06 septembre 2023**

Devant le jury composé de :

Mr BOUDRIES Hafid
Mr BACHIR BEY Mostapha
Mme OUKIL Naima

Professeur
MCA
MCA

Président
Encadreur
Examinatrice

Année universitaire : 2022/2023

REMERCIEMENTS

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et notre gratitude à Allah,
le Tout-Puissant, pour nous avoir donné la force et le courage nécessaires
pour mener à bien ce travail*

*Nous souhaitons également exprimer notre profonde reconnaissance à
Monsieur Mustapha BACHIRBEY pour son encadrement constant, son aide,
ces conseils, son encouragement et ces précieuses orientations qui ont
grandement contribué à la réalisation de ce projet.*

*Nous exprimons nos meilleurs sentiments de gratitude aux honorables
membres de jury*

*Monsieur le président Boudries Hafid et Madame l'examinatrice Oukil Naima
d'avoir accepté d'évaluer notre travail.*

*Nous remercions aussi nos enseignants de départements science Alimentaire
de l'université de Bejaia qui nous guident pendant 5 années d'étude.*

*Ce projet est le fruit des efforts de nombreuses personnes qui nous ont
énormément aidés, notamment ceux qui ont facilité notre accès
à l'information nécessaire à l'élaboration de ce dernier.*

Yasmine. H et Yasmine. A

DÉDICACE

À l'aide de Dieu le tout puissant, qui m'a honoré et éclairé le chemin par le savoir, ce modeste travail a pu être réalisé et que je dédie :

- *A mes chers parents, qui ont toujours été mon soutien inébranlable et ma source d'inspiration constante, je suis plus que reconnaissante qui ont sacrifiées pour mon éducation et ma réussite et m'avoir épaulé corps et âme dans chaque étape et soutenue. Je vous dis : vous avez été pour moi ma meilleure école et mon meilleur professeur, merci maman, merci papa pour toutes les valeurs que vous m'avez inculquées.*
- *A mon cher frère Sami, Ta présence apporte de la joie et de la force à chaque étape de ma vie, merci pour tes encouragements.*
 - *A toute ma famille grande et petite sans exception.*
 - *A ma binôme Hachemi Yasmine.*
- *A mon promoteur Mr BACHIR BEY Mostapha pour son soutien et ses conseils.*
- *A tous ceux qui ont contribué à la réussite de ce travail de proche ou de loin.*

Yasmine. A

DÉDICACE

Avec l'aide de Dieu le Tout-Puissant, qui m'a honoré et éclairé le chemin par le savoir, ce modeste travail a pu être réalisé. Je dédie ce mémoire :

*À mes chers parents qui m'ont soutenu tout au long de mon parcours,
à mon père Mokrane qui s'est toujours investi pour me voir réussir,
à ma mère Nedjima qui m'a toujours encouragé à aller plus loin
dans mon domaine.*

À ma chère grand-mère Ima Azizou.

À mon jumeau Farhat.

À ma sœur Liza et son mari Mohammed.

À ma sœur Katia et son mari Aghilas.

À mon frère Youcef et sa femme Kenza, et mon petit frère Kiki.

À mes neveux Ayoub, Aylane et Daris, et mes nièces Amira, Ania et Farah.

À mon promoteur, Bachir Bey Mostapha.

*À ma cousine Dihia, Melissa, Souad nawal ikram et surtout Cilya, qui toujours
été à mes côtés tout au long de mon parcours universitaire.*

À mes tantes, sans exception, et mon oncle Dalil Zahir.

À ma confidente Lina Chellah, à ma binôme Yasmine Alma, à mes copines

Baya, Souhila, Daya, Ilham, Naima, Nadjat, farah

et à mes amis Khoudir et Lotfi.

A Mon camarade Riadh

A mon prof de mathématique Mourad Bennacer

*Votre soutien, vos encouragements et votre amitié ont été une source
d'inspiration inestimable tout au long de cette aventure académique.*

Merci du fond du cœur pour avoir fait partie de cette réussite.

Ce mémoire est le fruit de notre collaboration

et de notre détermination collective.

Yasmine. H

Liste des figures

Figure 01 : Différentes parties de la fleur <i>crocus sativus</i>	3
Figure 02 : Principales nations productrices de safran	6
Figure 03 : Caractéristiques du sol recommandé pour la culture du safran	7
Figure 04 : Bulbes de <i>crocus sativus</i> avant le nettoyage	8
Figure 05 : Cycle de développement annuel de <i>Crocus sativus</i>	10
Figure 06 : Les aires principales de la culture de safran en Algérie	11
Figure 07 : Structure du crocine	13
Figure 08 : Structure de picrocrocine	14
Figure 09 : Structure du safranal	14
Figure 10 : Stigmates du safran	23
Figure 11 : Cinétique de dégradation de la crocine, picrocrocine et le safranal à la température de 70°C	24
Figure 12 : Cinétique de dégradation de la crocine, picrocrocine et le safranal a la température de 50°C	26
Figure 13 : Cinétique de dégradation de la crocine, picrocrocine et le safranal à la température de 37°C	27
Figure 14 : Cinétique de dégradation de la crocine, picrocrocine et le safranal à la température de 28°C	29
Figure 15 : Suivi de l'évolution et de la stabilisation de la crocine, picrocrocine et le safranal à la température de 4°C.....	31
Figure 16 : Suivi de l'évolution et de la stabilisation de la crocine, picrocrocine et le safranal au micro-onde à une puissance de 1000W	32

Liste des tableaux

Tableau 01 : Principaux producteurs de safran dans le monde	5
Tableau 02 : Classification ISO des safrans.	15
Tableau 03 : Classification du safran en fonction des conditions physiques et chimiques établies dans la spécification ISO 3632-2.....	16
Tableau 04 : la répartition de la poudre de safran pour le stockage	21

Table des matières

Introduction	1
Chapitre I : Généralités sur le safran	3
1. Définition.....	3
2. Historique	4
3. Distribution géographique	4
✓ Échelle mondiale.....	4
4. Culture de <i>Crocus sativus</i> (Safran)	5
4.1. Culture en Algérie.....	9
5. Emplois du safran	10
5.1. Usages traditionnels	10
5.2. Usage culinaire.....	10
5.3. Coloration	10
5.4. Cosmétologie	11
Chapitre II. Composition chimique et activités biologiques du safran.	
1. Composition chimique du safran	12
1.1. La crocine (C ₄₄ H ₆₄ O ₂₄)	13
1.2. La picrocrocine (C ₁₆ H ₂₆ O ₇)	13
1.3. Le safranal ou huile essentielle (C ₁₀ H ₁₄ O).....	14
2. Qualité du safran.....	14
3. La norme ISO 3632-2	15
4. Les activités biologiques de safran	17
4.1. Activité antioxydante	17
4.2. Activité antimicrobienne.....	17
4.3. Autres activités	18
Partie expérimentale	
I. Matériels et méthodes.	

I.1. Etude de l'impact de la méthode et du temps de stockage sur les teneurs des trois principaux composés du safran.....	20
I.1.2. Méthode de stockage par étuve et réfrigération	20
I.1.3. Méthode de chauffage par micro-ondes (hyper fréquence)	22
2. Analyses statistiques	23
II. Résultats et discussion	24
II.1 Étude de l'effet du stockage à différentes températures sur le safran	24
Conclusion.....	34

Références bibliographiques

Résumé

Introduction

Introduction

Les plantes aromatiques et médicinales ont une histoire étroitement liée à celle des civilisations. En effet, l'histoire des peuples à travers différentes régions du monde démontre que ces plantes ont toujours joué un rôle important dans la médecine, la création de parfums et l'élaboration de préparations culinaires (**Lahmadi et al., 2013**).

Parmi ces plantes aromatiques, nous avons porté notre attention sur le *Crocus sativus* L. (Liliopsida), communément appelé le safran. Il fait partie de la famille des iridacées et se distingue par les stigmates de sa fleur, qui constituent le safran proprement dit. Il est de couleur jaune, un goût amer et un arôme intense. En raison des propriétés fonctionnelles, les stigmates du safran ont été utilisés comme produit commercial depuis la fin des années 1980 (**Salih Karasu et al., 2019**).

Effectivement, le safran présente trois caractéristiques distinctives : sa couleur, son goût amer et son arôme (**Katzer, 2001**). Ainsi, la meilleure qualité de safran se trouve dans les variétés contenant une plus grande quantité des composants responsables de ces caractéristiques particulières. Ces derniers sont associés à trois molécules différentes : les crocines (esters de crocétine appartenant au groupe des caroténoïdes), la picrocrocine (monoterpène issu de la dégradation de la zéaxanthine) et le safranal (le composant prédominant dans la fraction volatile du safran) (**Alonso Diaz-Marta et al., 2006**).

L'utilisation d'épices a augmenté dans le régime alimentaire quotidien pour la prévention des maladies chroniques ou du cancer. En particulier, le safran attire l'attention des consommateurs grâce à ses propriétés bénéfiques sur la santé humaine (**Kyriakoudi et al., 2015**).

La qualité du safran est influencée par plusieurs facteurs, notamment les conditions de stockage et le traitement thermique, qui peuvent altérer les niveaux des composés bioactifs.

Afin de comprendre le comportement des substances bioactives de safran au cours de stockage, une étude est menée sur la cinétique de dégradation de la crocine, picrocrocine et le safranal en fonction de la température de stockage.

Ainsi, ce travail fait partie du projet de recherche international « Prima-2019 » portant l'acronyme « Saffronfood » dont la part de notre université s'accroît sur les applications technologiques du *Crocus sativus* L. cultivé sur le sol algérien, plus particulièrement celui de la wilaya de Constantine.

Cette étude est subdivisée en deux grandes parties. La première partie est une synthèse bibliographique composée de deux chapitres. Le premier chapitre résume quelques généralités sur le safran, la distribution géographique, les utilisations. Le deuxième chapitre offre un aperçu sur la composition chimique de safran et sa qualité. La seconde partie concerne la partie expérimentale. La première section décrit le matériel et les méthodes utilisés pour mener les expériences. La deuxième section présente les différents résultats obtenus ainsi que leurs discussions.

Enfin, le travail se termine par une conclusion résumant les principales conclusions et perspectives pour de futures recherches.

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralités sur le safran

1. Définition

Le stigmate séché de *crocus sativus* (Iridaceae) est appelé Safran (**Eirini et al., 2015**). Lorsqu'il est trempé dans l'eau chaude, il produit une solution jaune-orange vif avec un parfum intense et un goût légèrement amer (**Seddiqui et al., 2018**).

Certains rapports indiquent que cette espèce est un triploïde stérile, ce qui signifie qu'elle ne produit pas de graines fertiles. À 18°C, la germination peut prendre de 1 à 6 mois. Les plantes qui sont cultivées à partir de graines germées prennent trois ans pour fleurir. Les extrémités distales des carpelles de la plante sont trois stigmates de la fleur (figure 01). La tige qui repose les stigmates au reste de la plante est souvent séchée et utilisée en cuisine comme assaisonnement et colorant ; les fleurs sont hermaphrodites (ont des organes mâles et femelles) et pollinisées par les abeilles et les papillons. La plante nécessite un sol bien drainé et peut pousser dans le sol pauvre en nutriments. Elle préfère les sols légers (sableux) et moyens (limoneux) (**Rahimi, 2015**).

Le safran a gagné en popularité comme épice et comme médicament. Il réside dans diverses zones montagneuses d'Asie Mineure en Grèce, en Asie occidentale, en Egypte et en Inde. Le safran commercial est une épice composée de stigmates rouges séchés avec une petite partie du style jaunâtre attachée à la fleur de *Crocus sativus* (**Seddiqui et al., 2018**).

En raison de son prix élevé, le safran présente un impact économique significatif, mais également un impact sur les domaines agricole, environnemental et social (**Mzabri et al., 2019**).

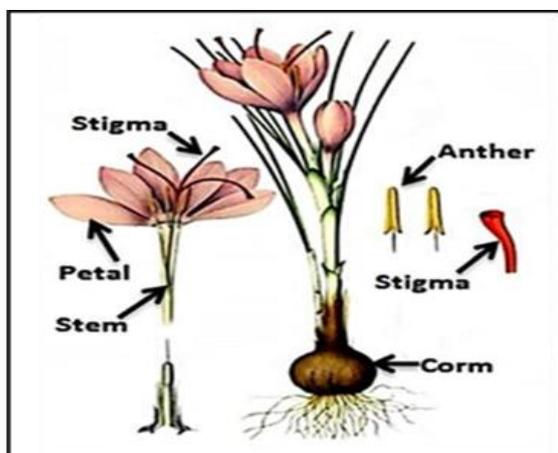


Figure 01 : Différentes parties de la fleur *crocus sativus* (**Zeraatkar et al., 2015**)

2. Historique

Le safran est une épice élaborée à partir de la fleur de *Crocus sativus*. Son appellation provient du latin safranum, qui a été attribuée par l'arbre « Zaafaran », qui représente une notion fondamentale de la couleur jaune. Le genre « Crocus » tire son origine du terme grec Krokos, qui signifie 'filament', en référence aux stigmates présents sur la plante. Le *Crocus sativus* a besoin de l'intervention de l'homme pour se reproduire, d'où le terme 'sativus' qui signifie 'cultivé' (Bouden et Kadri, 2019).

L'origine du safran est inconnue, mais il est cultivé avec succès dans des pays européens tels que l'Espagne, l'Italie, la France et la Suisse, ainsi qu'au Maroc, en Egypte, en Azerbaïdjan, au Pakistan, en Inde, Nouvelle-Zélande, Australie et Japon (Samarghandia et Borji, 2014). Il y a plus de 3600 ans, les stigmates du safran étaient utilisés comme médicament (Seddiqi et al., 2018). Depuis l'Antiquité, cette épice historique est connue pour son utilisation culinaire, mais le grand public ne la connaît pas pour son utilisation dans la médecine et la pharmacie. Il était prescrit au Moyen-âge pour soigner le rhume, les maux d'estomac et la toux (Le safran en Europe, 2014).

La culture du safran est en plein essor en Algérie. Ce n'est qu'au cours des cinq dernières années qu'un véritable élan a été observé à travers des projets familiaux en cours et des expérimentations documentées dans les Wilaya de Constantine, Khenchela, Tiaret, Bejaia, Souk-Ahras et Biskra (Bouden et Kadri, 2019).

3. Distribution géographique

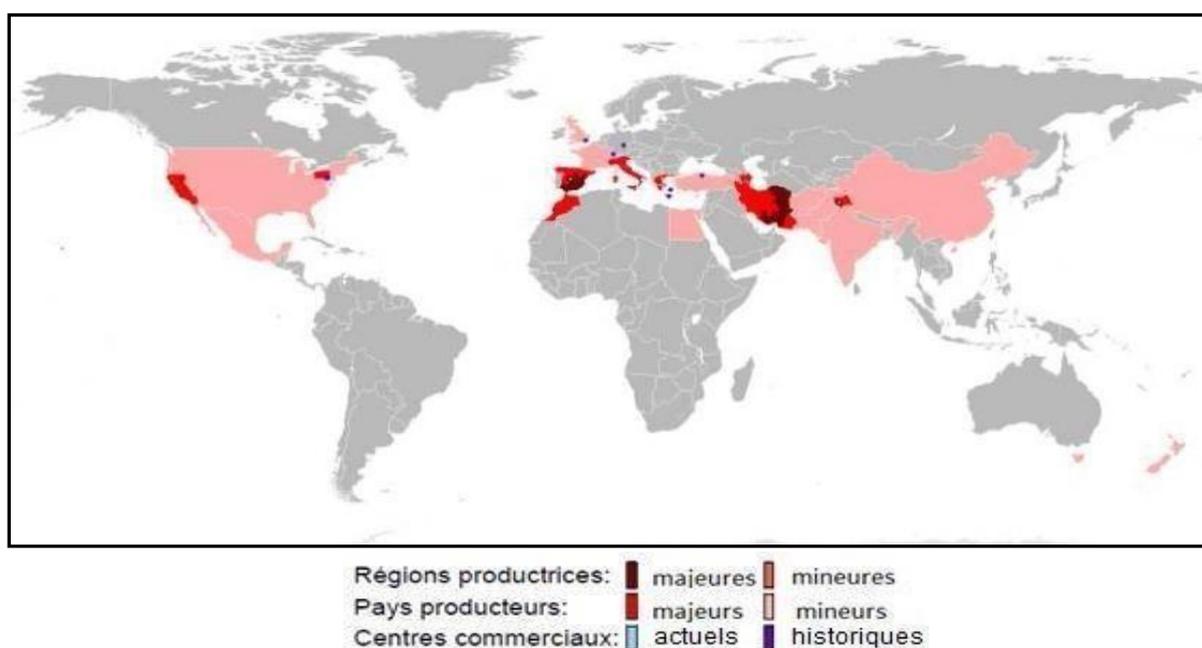
✓ Echelle mondiale

La production mondiale de safran est d'environ 475 tonnes par an. La plante de safran est cultivée dans de nombreux pays comme l'Iran, l'Inde, le Maroc, la Grèce et l'Espagne (tableau 01). Ces pays sont les plus grands exportateurs de safran au monde (figure 02). À plus petite échelle, on trouve l'Italie, la Turquie, l'Azerbaïdjan, la Chine, le Japon et les États-Unis (Ganaie et al, 2019).

La production mondiale de safran dans divers pays est illustrée dans le tableau suivant :

Tableau 01 : Principaux producteurs de safran dans le monde (Mazabri et al, 2021).

Pays	Production annuelle (tons)	Pourcentage
Iran	405	85,2
Inde	22	4,6
Afghanistan	17,1	3,65
Espagne	17,1	3,65
Grèce	7	1,5
Maroc	6,8	1,4
Production totale	475	100

**Figure 02** : Principales nations productrices de safran (Rahmouni et Rghis, 2016).

4. Culture de *Crocus sativus* (Safran)

Le *Crocus sativus* présente une croissance inversée, ce qui signifie que les feuilles de safran apparaissent en septembre et la plante fleurit en octobre, avant de se dessécher en mai de l'année suivante. Le safran fleurit pendant l'automne, alors que les autres plantes hibernent. Au printemps, lorsque la plupart des plantes éclatent les bourgeons, il entre en dormance et son feuillage disparaît complètement (Benmostefa et Guellil, 2017). Les fleurs de safran ne fleurissent qu'une fois par an et doivent être récoltées en très peu de temps. La récolte a lieu en octobre-novembre pendant 3-4 semaines (Rahimi, 2015).

Le calibre du bulbe et son état sanitaire déterminent la qualité du matériel végétal de départ. Pour assurer une production satisfaisante dès la première année, il sera nécessaire d'utiliser des bulbes de grande taille (5 à 8 cm de diamètre). Les bulbes en dessous ne donneront des fleurs que les années suivantes, c'est-à-dire les bulbilles. Le lieu culturel est crucial. Le sol doit être à pH neutre, léger, perméable, aéré et riche en matières organiques. Le sol devra être frais, humide et très bien drainé en termes d'humidité et de température. Le Crocus préfère les sols silico-calcaires ou argilo-calcaires, qui sont fertiles et assez profonds (Figure 03). Ils doivent être sains et ne contiennent aucun fumier frais ou des herbes fraîchement enfouies.

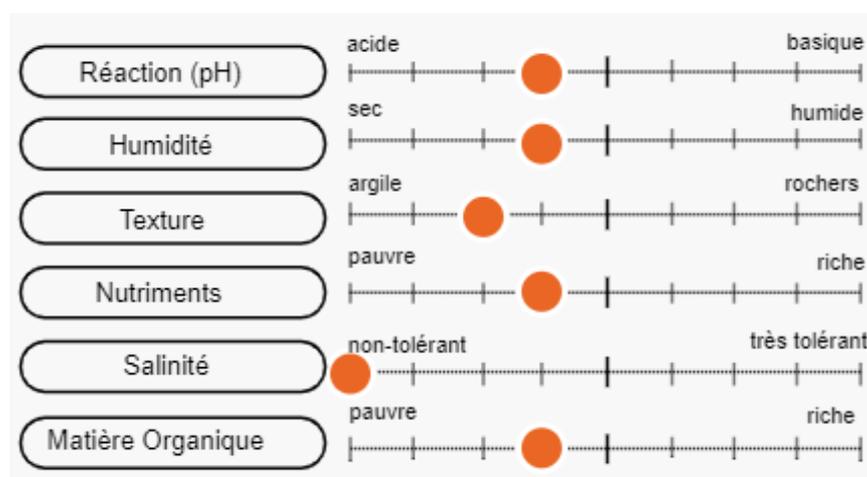


Figure 03 : Caractéristiques du sol recommandé pour la culture du safran (Julve, 2020).

Le safran peut être cultivé à des altitudes allant jusqu'à environ 2000 mètres au-dessus du niveau de la mer, mais il est préférable de le cultiver sur des coteaux et des vallées entre 600 et 1700 mètres. La plante peut être cultivée dans des zones sèches et stériles où l'eau extrêmement rare en été (Seddiqui et al., 2018).

Les principaux ennemis du safran sont l'excès d'eau et les sols imperméables. Cette plante a besoin de lumière pour pousser, donc le terrain doit être orienté au sud et au sud-est et hors de l'ombre des conifères et des bâtiments. Le safran est une culture de jours courts qui tolère des conditions climatiques très rudes et convient aux régions, aux hivers froids et aux étés chauds et secs. Il peut résister à des températures inférieures à -10°C ou supérieures à $+40^{\circ}\text{C}$ pendant plusieurs jours. C'est une culture des hautes terres à une altitude de 650 à 1200 mètres. *Crocus sativus* aime la chaleur et beaucoup de soleil nécessitant un climat continental méditerranéen avec des hivers frais et des étés chauds et secs (Molina et al., 2005).

La culture du safran passe par les étapes suivantes :

a) **Achat des cormes (bulbes)**

La méthode utilisée pour cultiver toute plante à bulbes est idéale pour la culture du safran (**Safran en Europe, 2014**).



Figure 04 : Bulbes de *crocus sativus* avant le nettoyage (**Safran en Europe, 2014**).

b) **Préparation de l'emplacement de culture**

Un labour diagonal et profond de 30 à 35 cm est nécessaire pour faciliter la préparation du sol (**Birouk, 2011**).

c) **Plantation des bulbes**

Les plantations sont effectuées de juillet au début septembre, car les plantations tardives produisent moins de fleurs (**Palomares, 2015**). Les cormes sont enterrées à une profondeur entre sept et quinze centimètres (**Djeriri et Douzi, 2017**).

Deux facteurs cruciaux ayant un impact sur le rendement des plantes sont la profondeur et l'espacement, en corrélation avec le climat. Par conséquent, bien qu'ils produisent moins de bourgeons et de cormes fils, les cormes plantées les plus produisent un safran de qualité supérieure. Les producteurs italiens ont conclu qu'une profondeur de quinze centimètres et un espacement de deux à trois centimètres entre les cormes contiennent le rendement en stigmates, tandis que les profondeurs de huit à dix centimètres favorisent la production de fleurs et de cormes (**Djeriri et Douzi, 2017**).

Les cormes de *Crocus sativus* ne sont résistantes qu'à une seule saison. Leur activité s'étend de septembre à mai avant de s'endormir pendant tout l'été. Chaque bulbe mère ne fleurit qu'une fois et engendre plusieurs petits bulbes ou bulbilles qui se dessècheront avant de produire de nouvelles plantes. Ils utiliseront leurs ressources dans le bulbe mère qui s'épuisera finalement. Les nouveaux bulbes seront de 2 à 10 et doivent être divisés manuellement avant d'être replantés. Ils grossissent tout au long de l'automne, puis ils dorment (**Nathalie, 2014**).

d) Entretien des cultures

Selon **Birouk et al. (2011)**, les mesures à prendre pour éviter les ennemis du safran sont les suivantes : connaître le passé culturel propre ; le fumier doit être bien composté ; Au moment de la plantation, il convient d'utiliser des bulbes sains (enlever les bulbes blessés ou suspects) et Éviter les terrains peu drainants.

e) Émondage

Les autres organes de la fleur de crocus sont séparés par l'émondage des fleurs. Afin de garantir une qualité optimale, l'objectif est de couper le style ni trop haut ni trop bas. C'est une opération manuelle effectuée à la fin de la journée de récolte. Pour produire 100 m² de culture, il faut compter trois fois plus de temps de travail que pour la récolte, soit environ 12 heures d'émondage (**Anonyme, 2012**).

f) Séchage et conservation du safran

Les techniques de séchage et de stockage sont très importantes, car elles peuvent compromettre complètement les caractéristiques qualitatives du safran (figure 05). La déshydratation du safran peut se faire de différentes manières. En Italie, les stigmates sont généralement répartis sur une surface importante et séchés à température ambiante au soleil ou à l'air forcé. La déshydratation à Navelli est traditionnellement effectuée en plaçant les stigmates sur un tamis à 20 cm au-dessus d'un feu de charbon de bois. En Sardaigne, par contre, les stigmates sont séchés brièvement au soleil ou à température ambiante (pendant plusieurs jours) ou dans des étuves à basse température (35-40°C) jusqu'à ce que l'humidité descende à 5-15%. Le safran est séché au soleil en Inde et en Iran, torréfié dans la cendre chaude en Espagne et lentement séché dans l'obscurité à 30-35°C en Grèce. Le pigment de safran est sensible à la lumière, à l'oxygène et à la température. La meilleure façon de conserver l'épice du safran est d'utiliser des récipients en verre noir, fermés, éventuellement à basse température (5-10°C) (**Gresta et al., 2007**).

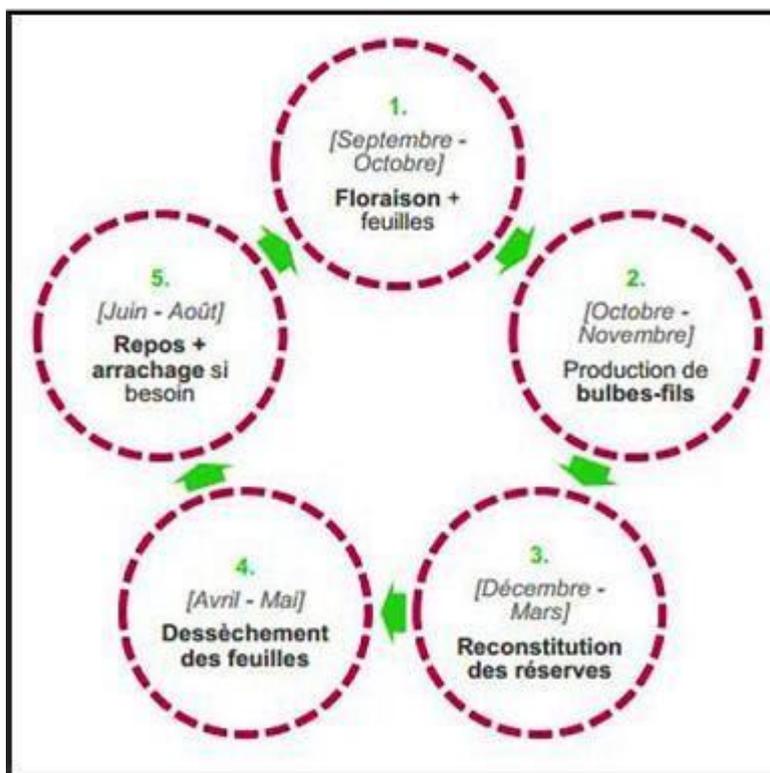


Figure 05 : Cycle de développement annuel de *Crocus sativus* (Palomares, 2015).

4.1. Culture en Algérie

L'Algérie devrait connaître cette culture dans des régions proches de l'Andalousie, comme Tlemcen et peut-être Bejaia. Après l'indépendance, d'autres produits sont devenus populaires en tant qu'adultérant, incitant les Algériens à créer des caractéristiques pour distinguer le vrai safran du faux. Leurs vrais noms sont Za'fran Ch'ra et Za'fran EL-Hor. Le carthame est souvent proposé comme safran artificiel. Ce n'est qu'au cours des dix dernières années qu'il y a eu un véritable élan à travers des projets familiaux durables et des expériences documentées. À Constantine (Benbadis), Khenchela (M'sara) qui propose une exportation de fils, Tiart (Hamadia) et Biskra (figure 06). De nos jours, le Safran est également vendu sur internet (Zobeidi et Benkhalifa, 2014).

Une première édition de la fête du safran a eu lieu du 25/26 janvier 2023 à la maison de culture de Bejaïa organisé par l'association des cultivateurs du safran de la Wilaya de Bejaia, confirme l'importance qu'ils apportent à la culture du Safran.



Figure 06 : Les aires principales de la culture de safran en Algérie (Azizi, 2018).

5. Utilisations du safran

5.1. Usages traditionnels

Depuis plus de 3000 ans, le safran est considéré comme une panacée de la médecine ayurvédique, mongole, chinoise, égyptienne, grecque et arabe. Les premiers textes médicaux remontent à l'Égypte ancienne. Le papyrus Ebers répertoria plus de 700 substances du règne végétal et constitue la base de la pharmacopée égyptienne. Les propriétés attribuées au safran, notamment ses propriétés stimulantes, euphorisantes, digestives et antispasmodiques, y sont déjà répertoriées (Lazérat, 2009).

5.2. Usage culinaire

Le safran est utilisé dans de nombreux plats de la cuisine arabe, européenne, indienne, iranienne et d'Asie centrale, notamment la bouillabaisse et le riz (Chevalier, 1926). Le safran agit comme exhausteur de goût lorsqu'il est mélangé à d'autres épices (thym, cannelle, gingembre, ail) (Honan, 2004).

5.3. Coloration

Les stigmates du safran produisent une couleur jaune-orange vif due au crocine et aux flavonoïdes, car la couleur des tissus tend vers le rouge. Le jaune orangé intense se transforme rapidement en jaune crémeux pale (Willard, 2001), utilisée dans les beurres colorés, les fromages, certaines sauces, divers produits de boulangerie, les liqueurs et les sucreries (Chevalier, 1926), mais aussi dans la coloration de certains tapis et tissus orientaux (Teusher, 2005).

5.4. Cosmétologie

Le safran est notamment utilisé en cosmétologie féminine pour obtenir une peau douce et jaune (**Lazérat, 2009**), comme liquides et crèmes hydratantes, nourrissantes et anti-âge (**Kesari, 2014**), comme masque revitalisant et dans les sérums anti-rides (**Phylactiv, 2014**). Le safran était également utilisé dans la fabrication de divers parfums uniquement pour ses propriétés aromatiques (**Chevalier, 1926**).

Chapitre II : Composition chimique et activités biologiques du safran

1. Composition chimique du safran

Plus de 150 composés volatils et précurseurs d'arômes peuvent être trouvés dans le safran. Il contient également de nombreux composants actifs non volatils, dont beaucoup sont des caroténoïdes, tels que la zéaxanthine, le lycopène et divers carotènes. Plus de 34 composants constitutifs des substances volatiles à forte odeur, principalement des terpènes, des alcools terpéniques et leurs esters. Les crocines, qui sont responsables de la couleur rouge ou brun rougeâtre des stigmates, ainsi que les carotènes, la crocétine, la picrocrocine (un précurseur glycosidique du safranal), la substance amère et le principe organoleptique principal du safranal, font partie des non-volatils (**Rahimi, 2015**).

En raison de pertes non significatives de composés volatils, le safran peut être lyophilisé. La composition chimique du safran est difficile à déterminer, car elle nécessite une identification botanique précise, des stigmates non adultérés et des déchets floraux inexistantes (**Benmostefa et Guellil, 2017**).

Voici les données moyennes de l'analyse chimique du safran (**Eirini et al., 2015**) :

- ✓ Eau (14 à 16 %).
- ✓ Fibres (4 à 5 %).
- ✓ Matières azotées (11 à 13 %).
- ✓ Cellulose (4 à 7 %).
- ✓ Polypeptides (11 à 13%).
- ✓ Lipides (3 à 8 %) : campesterol, stigmastérol et β -sitostérol.
- ✓ Matières minérales (1 à 1,5 %).
- ✓ Glucide (12 à 15 %) : glucose, fructose, gentiobiose, xylose et rhamnose.
- ✓ Vitamines : B2 ou riboflavine (56,4 à 138 $\mu\text{g/g}$) et B1 ou thiamine (4,0 à 0,9 $\mu\text{g/g}$).
- ✓ Divers, non azotés (40%).
- ✓ Acides gras : acides palmitiques, stéarique, oléique et linoléique.
- ✓ Caroténoïdes : α , β et γ -crocétine, crocine (10%), picrocrocine (4%), α et β -carotène, lycopène, phytoène et zéaxanthine.
- ✓ Huiles essentielles (0,3 à 2,0 %) : où domine le safranal (60%).

Compte tenu de sa large utilisation, le safran a fait l'objet de nombreuses études phytochimiques et biochimiques, et une variété d'ingrédients biologiques actifs ont été isolés (Palomares, 2015). Le safranal, la crocine et la picrocrocine sont les principaux composés bioactifs identifiés (Seddiqui et al., 2018). La crocine, responsable des couleurs rouge et jaune, la picrocrocine, responsable du goût, le safranal, composé majoritairement volatil, responsable de l'odeur et de l'arôme (Palomares, 2015).

1) Crocine :

La couleur jaune-orange d'or du safran est due à l' α -crocine. C'est un caroténoïde à l'origine de l'arôme du safran. Le safran frais contient 10 % de ce pigment. L' α -crocine est un colorant idéal pour tous les aliments à base d'eau, comme les plats à base de riz (Palomares, 2015). C'est le principal glycoside caroténoïde qui donne au safran sa couleur distinctive. Il s'agit plus précisément d'un ester de crocétine digentiobiose (C₂₀H₂₄O₄) avec une liaison glycosidique en forme de bêta qui peut être hydrolysée par l'émulsine (β -glucosidase). Plusieurs types d'esters peuvent être trouvés dans le safran, y compris l'ester monogentiobioside et l'ester monoglucoside, ainsi qu'un stéréoisomère de crocine, la 13-cis-crocine (Eirini et al., 2015).

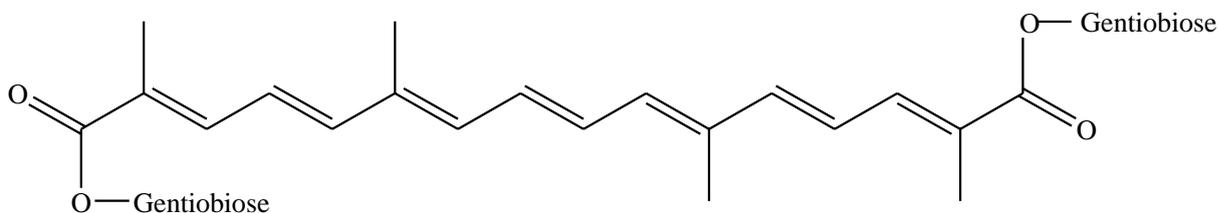


Figure 07 : Structure du crocine (John et Leffingwell, 2002).

2) Picrocrocine :

Il s'agit du 4-(β -D-glucopyranosyloxy) -2,6,6-triméthyl-1-cyclohexène-1-carboxaldéhyde (C₁₆H₂₆O₇) (figure 08). Elle est composée d'un glucide et d'un aldéhyde appelé safranal (Tarantilis et al., 1995). La formation d'une molécule de crocétine et de deux molécules de picrocrocine est provoquée par le clivage des doubles liaisons adjacentes aux cycles de zéaxanthine (Schmidt et al., 2007).

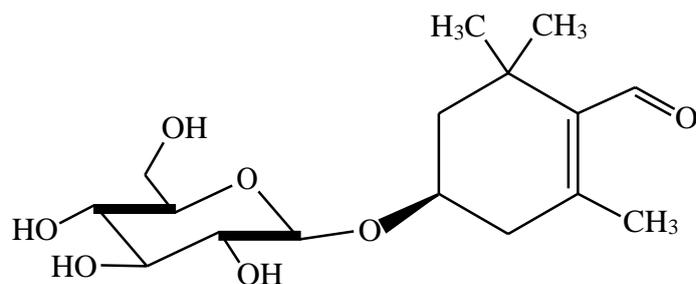


Figure 08 : Structure de picrocrocine (**Palomares, 2015**).

3) Safranal :

Selon la nomenclature IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), le safranal 2,2,6-triméthyl-1,3-cyclohexadiène-1-carboxaldéhyde (C₁₀H₁₄O) (figure09). C'est un aldéhyde aromatique qui est considéré comme le principal composant biologiquement actif de cette huile essentielle. Il se compose en fait de 82,82% de composants volatils (**Hu et al., 2008**).

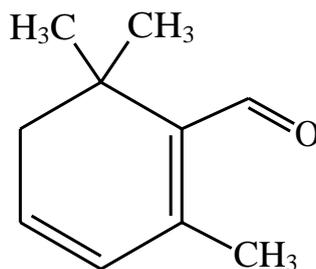


Figure 09 : Structure du safranal (**Ramin et Hossein, 2013**).

2. Qualité du safran

Le safran, également appelé "or rouge", est le produit alimentaire le plus cher au monde. Son prix varie de 2 € à 25 €/g en magasin et peut atteindre 35 €/g en petites safranieres. Sa variabilité est due à l'origine et à la qualité de l'épice (**Bergoin, 2005**). Le prix élevé du safran est en grande partie contribué par la méthode de culture (**Rahimi, 2015**). En effet, la production d'un kilogramme de safran nécessite entre 150 000 et 200 000 fleurs et environ 400 heures de travail (**Mzarbi et al., 2019**). Par conséquent, pour seulement 1 kg d'épices au safran, 350 kg de pétales, 1500 kg de feuilles et des centaines de bulbes sont générés, qui ne peuvent pas être broyés ou commercialisés en raison de leur petite taille (**Jadouali et al., 2018**). La qualité du safran dépend de la concentration en crocine, picrocrocine et safranal, trois métabolites majeurs qui contribuent à la couleur, au goût et à l'arôme (**Manzo et al., 2018**).

3. Norme ISO 3632-2

Les normes ISO (Organisation Internationale de Normalisation) 3632 régissent la qualité du safran à l'échelle mondiale et sont actualisées tous les 3 ans (ISO/TC 34, 2011). Elle suggère quatre catégories empiriques basées sur l'intensité de la couleur : IV (qualité faible), III, II et I (qualité supérieure). Les échantillons de safran sont classés dans ces catégories en fonction de la concentration en crocine, qui est déterminée par une mesure de l'absorbance spectroscopique (Tableaux 2 et 3). Cependant, un grand nombre de commerçants, de consommateurs et de cultivateurs s'opposent à ce classement scientifique. Ils préfèrent une approche plus globale qui présente le safran en se basant sur ses trois caractéristiques principales : parfum, arôme et goût.

Tableau 02 : Classification ISO des safrans (ISO 3632-2: 2011).

Norme ISO 3632 composés du safran	Catégorie I (extra)	Catégorie II	Catégorie III	Catégorie IV
Safranal, parfum LO=257 nm.	Mini 20 Maxi 50	Mini 20 Maxi 50	Mini 20 Maxi 50	Mini 20 Maxi 50
Crocine, couleur LO=440nm,valeur minimale	>190	150	110	80
Picrocrocine, saveur LO=330nm.	70	55	40	30

Tableau 03 : Classification du safran en fonction des caractéristiques physiques et chimiques établies dans la spécification ISO 3632-2 (ISO 3632-2: 2011).

Caractéristiques	Catégories Spécifiques		
	I	II	III
Teneur en eau et matières volatiles (fraction massive) % max.			
Safran en filaments	12	12	12
Safran en poudre	10	10	10
Cendres totales (masse) sur sec, % max	8	8	8
Cendres insolubles dans l'acide (fraction massive) % sur sec, max	1,0	1,0	1,0
Extrait soluble dans l'eau froide, (fraction massive) % sur sec, max	65	65	65
E 1% 1cm 257 nm sur sec, min. (valeur maximum d'absorption de safranal)	20 50	20 50	20 50
E 1% 1cm 330 nm sur sec : Min. Max. (valeur maximum d'absorption de picrocrocine)	70	55	40
Pouvoir colorant E 1% 1cm 440 nm sur sec, min. (A cette longueur, l'absorption de crocine est maximale)	190	150	100
Coloration acides artificiels hydrosolubles	Absence	Absence	Absence

4. Activités biologiques de safran

4.1. Activité antioxydante

Le safran a un effet inhibiteur sur les réactions en chaîne des radicaux libres, ce qui explique ses propriétés antioxydantes. Le safran est un des meilleurs antioxydants naturels pour lutter contre le vieillissement des cellules, car il est riche en vitamine B2 et provitamine A. Les caroténoïdes protègent de diverses espèces radicalaires. Par conséquent, il a été démontré que le safran protège les cellules cardiaques en renforçant la défense antioxydante lors d'endommagements dus à l'ischémie-réperfusion et des maladies cardiovasculaires (Nathalie,2014).

La crocine est particulièrement étudiée pour ses propriétés antioxydantes dans le safran, et les caroténoïdes agissent comme une protection active contre les espèces radicalaires (Karimi et al., 2010 ; Serrano et al., 2012). En agissant en tant qu'antioxydants, ces composants du safran aident à prévenir les dommages causés par le stress oxydatif et à protéger les cellules contre les effets néfastes des radicaux libres.

4.2. Activité antimicrobienne

Un nombre alarmant de micro-organismes multi résistants est en augmentation dans le monde. Les produits naturels ou dérivés de plantes médicinales constituent une bonne source d'agents antimicrobiens sans effets secondaires indésirables en tant que module de traitement contre les micro-organismes. Différentes parties de *Crocus sativus*, comme les étamines et la corolle sont utilisées comme source d'antimicrobiens. Les extraits de *Crocus sativus* ont montré une activité améliorée contre les bactéries et les champignons testés.

De plus, les effets antibactériens d'autres mélanges, tels que les extraits de pétales aqueux, éthanoliques et méthanoliques, ont été mesurés par rapport aux agents pathogènes d'origine alimentaire. Les résultats ont confirmé que ces extraits présentent une activité antibactérienne (Rahmani et al., 2017).

4.3. Autres activités

De nombreuses nations ont utilisé le safran depuis des siècles pour soigner diverses maladies, et les activités pharmacologiques et médicinales du safran et de ses constituants ont été largement étudiées (**Abdullaev, 2002**).

De nombreuses recherches ont confirmé que le safran et ses constituants possèdent plusieurs effets thérapeutiques sur différents tissus et organes. Ils agissent favorablement sur le système cardiovasculaire (**Mehrnia et al., 2016 ; Moratalla-López et al., 2019**), l'hypertension (**Ghaffari et al., 2019**), l'athérosclérose, le système immunitaire, le système nerveux central (**Milajerdi et al., 2015**), le système génétique (**Gregory et al., 2005**), les yeux (la vision), le système respiratoire, la fonction érectrice et les troubles de l'utérus (**Mousavi et al., 2011**).

Ces propriétés thérapeutiques du safran peuvent être attribuées aux importants composants bioactifs qu'il contient. En effet, le safran possède des propriétés antispasmodiques, sédatives gingivales et nerveuses, anti-obésité et de détoxification de l'alcool (**Mecocci et al., 2014 ; Rahaiee et al., 2015**). Il a été utilisé dans diverses cultures anciennes pour renforcer la digestion, soulager la toux (en tant qu'anti-toussif) (**Poma et al., 2012**), réguler les menstruations (**Das et al., 2010 ; Khorasany et al., 2015**), détendre les spasmes musculaires, apaiser l'anxiété et améliorer l'humeur (**Ahmad Shah et al., 2017**).

Partie expérimentale

I. Matériels et méthodes :

Afin de suivre la cinétique de dégradation des substances bioactives de safran en fonction de temps et à des températures spécifiques :

I.1 Matière végétale

Les fleurs de *Crocus sativus* prélevées à la ferme de recherche située dans la commune d'Iben Badis (anciennement El Haria) a une altitude de (Min.791 Max.791), distante de 40 km du centre de la wilaya de Constantine, Les fleurs de la plante sont récoltées en mois de novembre.

Les stigmates de safran utilisées dans cette étude (figure 10), qui constituent la partie précieuse de la fleur, ont été retirés manuellement et séparés avec soin. Ces stigmates ont ensuite été séchés à l'air libre. Une fois séchés, ces dernières ont été transportés au laboratoire de Biochimie Alimentaire (Faculté des sciences de la nature et de la vie, Université de Bejaia) dans des flacons en inox, garantissant une protection contre la lumière et assurant ainsi la préservation des composés sensibles à la photo-oxydation. Les flacons ont été fermés hermétiquement pour empêcher toute altération ou contamination des échantillons.

Les échantillons sont placés dans un congélateur à une température constante de -18°C . Cette température de stockage basse a été choisie pour maintenir l'intégrité des composés volatils, des pigments et des autres substances bioactives présentes dans les stigmates de safran. Le congélateur offre un environnement froid et stable, empêchant ainsi toute dégradation ou perte de qualité pendant la période de stockage.



Figure 10 : Stigmates du safran.

1. Etude de l'impact de la méthode et du temps de stockage sur les teneurs des trois principaux composés du safran

Afin de suivre la cinétique de dégradation des composés principaux de safran (Crocine, Picrocrocine, Safranale) au cours du temps, trois méthodes ont été utilisées : par réfrigération, par étuve et par microonde.

1.1. Méthode de stockage par étuve et réfrigération

Cette approche méthodologique a été mise en œuvre en utilisant la méthode de stockage dans des étuves à différentes températures, ainsi que dans un réfrigérateur, pendant une période de 6 mois. Cette étude visait à évaluer l'évolution des teneurs en crocine, picrocrocine et safranale au cours de stockage à des températures variées afin de mieux comprendre leurs stabilités dans le temps.

Des échantillons de safran ont été minutieusement sélectionnés et préparés pour l'expérience. Ils ont été répartis en différents groupes et soumis à des conditions de stockage spécifiques : des étuves à des températures de 70, 50, 37 et 28°C, ainsi qu'un groupe conservé dans un réfrigérateur à une température de 4°C. Ces températures ont été choisies pour représenter une gamme de conditions de stockage couramment rencontrées dans les situations réelles (4, 28 et 37°C) ou accélérés (50 et 70°C).

L'objectif est d'analyser les effets de ces différentes températures sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques des échantillons au fil du temps.

Au cours de cette période de 200 jours, des analyses régulières ont été effectuées pour évaluer les changements des propriétés des échantillons. Ces analyses ont permis de déterminer les effets des différentes températures de stockage sur la qualité, l'intégrité et la stabilité des échantillons au fil du temps.

- **Préparation des échantillons**

Dans cette étude, un échantillon de safran en stigmates d'une masse de 1,2g a été prélevé et broyé manuellement à l'aide d'un mortier et pilon. Le broyat obtenu a ensuite été filtré à travers un tamis d'une maille de diamètre de 0,25mm.

Le tableau 4 indique la répartition de la poudre de safran pour le stockage. Les différentes

quantités de safran sont mises dans des Eppendorfs en plastique bien fermer et enrobé dans du film de cellophane afin d'être préservés aux différentes températures dans des étuves ainsi que dans le réfrigérateur.

A T0 (contrôle) 20mg ont été prélevé pour effectuer le premier teste (avant stockage).

Les Eppendorfs contenant une quantité de 200mg chacun a été préservé a différentes températures, une quantité de 20mg a été prélevé a des différentes périodes pour l'analyse.

Le tableau 04 : la répartition de la poudre de safran pour le stockage.

Température °C	T ₀	4°C	28°C	37°C	50°C	70°C
Quantité (mg)	20	200	200	200	200	200

L'extraction des composés bioactifs du safran est réalisée par la méthode ISO 3632-2 (2011). Elle consiste à l'extraction à partir de 20mg de la poudre du safran par un volume de 50ml d'éthanol 70% mis sur une plaque agitatrice (VELP SCIENTIFICA) a une vitesse de 400 rpm durant 20min.

L'extrait récupéré est dilué (3ml de la solution +9ml d'éthanol 70%) avant de mesurer les absorbances grâce à un spectrophotomètre UV-Vis aux longueurs d'ondes maximales (λ_{max}) suivantes 257, 325 et 438 nm pour le safranal, la picrocrocine et la crocine, respectivement.

1.2. Méthode de chauffage par micro-ondes (hyper fréquence)

Afin d'effectuer cette étude, une quantité précise de 0,2g de poudre de safran a été pesé. Ensuite, cette poudre a été soumise à un traitement par micro-ondes domestique (Maxipower) modifié par ajout d'un réfrigérant, en utilisant une puissance de 1000W pendant des durées variables : 1, 3, 8, 13, 18, 23 et 28 minutes. Après chaque intervalle de temps, un prélèvement de 20mg a été effectué pour analyse en se basant sur la même méthode (ISO 3632-2, 2011).

Les résultats sont exprimés par l'extinction suivant la loi de Beer- Lambert (Equation 1). Selon cette loi, l'absorbance est directement proportionnelle à la concentration de la substance et à l'épaisseur du milieu traversé par la lumière. Cela se traduit par la formule :

$$A = \xi \times L \times C \text{ (Equation 1)}$$

Ou A est l'absorbance à la longueur d'onde (λ_{\max}) (sans unité), ξ est coefficient d'extinction massique (L/g/cm), L est la largeur de la cuve (cm) et C est la concentration en soluté apporté (g/100ml).

2. Analyses statistiques

L'analyse statistique des résultats obtenus a été réalisée à l'aide du logiciel Statistica (Version 10). Le logiciel Microsoft Office Excel 2016 est utilisé pour tracer les graphiques et calculer les moyennes et les écarts types des trois principaux composés de safran.

II. Résultats et discussions

II.1 Etude de l'effet du stockage à différentes températures sur le safran :

De nombreuses recherches se sont penchées sur la dégradation du pouvoir colorant, la perte d'odeur et de saveur à différentes conditions de stockage, montrant que le traitement thermique des aliments entraîne généralement des modifications significatives de leurs composés bioactifs (**Jawaheer et al., 1996 ; Craft et al., 2010**).

- **Température de 70°C**

Les échantillons de safran ont été conservés à une température constante de 70°C pendant une période de 95 jours afin de simuler des conditions de stockage (figure11). Des analyses régulières ont été effectuées pour évaluer les changements des concentrations des substances bioactives du safran (crocine, picrocrocine et safranal) au fil du temps.

Les résultats obtenus ont montré que le stockage à 70°C avait un impact significatif sur les substances bioactives du safran.

La crocine est un composé essentiel du safran, responsable de sa couleur vive et de ses propriétés antioxydantes. Le niveau initial de la crocine était de 202,20 (L/g/cm) puis montre une dégradation rapide durant les neuf premiers jours de stockage à 70°C pour arriver à un niveau de 90. La concentration de crocine se stabilise jusqu'à 23 jours puis l'abaissement de la teneur reprend jusqu'à la fin de stockage, mais avec une baisse progressive pour atteindre vers la fin 71,40. Cette dégradation peut être attribuée à la température élevée de stockage.

Ainsi qu'une diminution progressive de la concentration de safranal de 71,57 pour le premier jour jusqu'à 65,33 pour le 14^e jour, puis la concentration a continué à fluctuer pendant la période de stockage du 23^e au 95^e jour. Cela peut être dû aux réactions chimiques et enzymatiques entraînées par la chaleur élevée qui altèrent la structure du safranal, conduisant ainsi à une diminution de sa concentration au fil du temps.

Cependant une augmentation régulière de la concentration de picrocrocine durant les 23 premiers jours de 38,73 jusqu'à 56,03 peut être due à des processus de formation ou à des réactions chimiques qui libèrent de la picrocrocine à partir de ses précurseurs suivis par une légère diminution du 49e jour au 95e jour attribué à des réactions de dégradation plus prononcées.

Il convient de noter que d'autres facteurs tels que l'humidité, l'exposition à la lumière et la durée de stockage peuvent également influencer la stabilité des substances bioactives du safran.

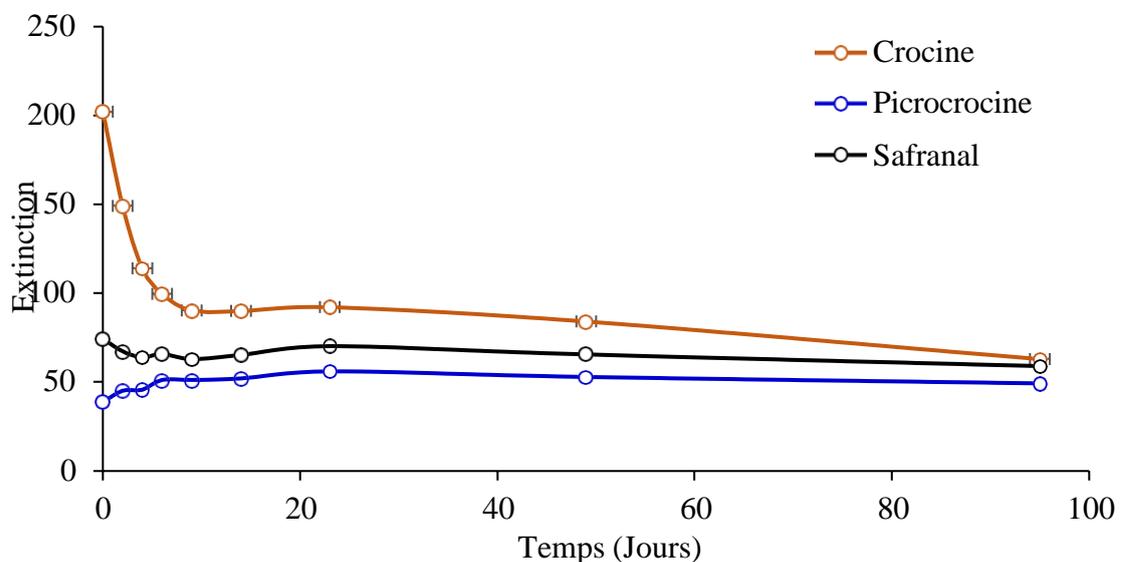


Figure 11 : Cinétique de dégradation de la crocine, picrocrocine et le safranal à la température de 70°C.

La crocine, la picrocrocine et le safranal sont les principaux composés bioactifs du safran (*Crocus sativus* L.), responsables de sa couleur, de sa saveur et de son odeur, respectivement. Leur dégradation nécessite des températures extrêmes. Une étude sur le safran a indiqué que ces valeurs sont de 59,07 pour le safranal, 49,37 pour la picrocrocine et 62,97 pour la crocine, lorsque les échantillons ont été soumis à une température élevée de 70°C pendant 95 jours, conformément aux normes ISO 3632-2. Le safran de la région de Constantine est classé dans la première catégorie, ce qui indique qu'il est de très bonne qualité.

- **Température de 50°C**

La concentration de crocine diminue progressivement de 202,20 (jour 1) à 128,33 (jour 95) (figure 12). Cette diminution indique que la crocine est sensible aux conditions de stockage à une température élevée. Les fluctuations mineures observées en cours de stockage peuvent être dues à des réactions chimiques ou à des variations dans l'environnement de stockage.

La picrocrocine suit une tendance à la baisse légèrement moins prononcée que la crocine. La concentration augmente de 38,73 (jour 1) à 44,87 (jour 95). Comme pour la crocine, la picrocrocine peut être affectée par la chaleur et montre également quelques fluctuations mineures pendant la période de stockage.

La concentration de safranal montre une évolution plus irrégulière au fil du temps. Elle diminue légèrement jusqu'au 6^e jour, augmente légèrement au 9^e jour, puis connaît une forte augmentation jusqu'au 23^e jour. Après cela, elle diminue à nouveau jusqu'au 49^e jour avant de remonter légèrement jusqu'au jour 95. Cette variation complexe peut être due à des réactions chimiques et à la transformation des composés au cours du stockage

Sensibilité à la chaleur : Les résultats montrent clairement que la crocine, la picrocrocine et le safranal sont tous sensibles à la chaleur. Les températures élevées de l'étuve, à 50°C, entraînent une dégradation de ces composés actifs au fil du temps. Cette sensibilité à la chaleur est un facteur critique à prendre en compte lors du stockage du safran pour préserver sa qualité.

Effet de la durée de stockage : Les résultats révèlent que la concentration de tous les composés actifs diminue progressivement avec la durée du stockage. Cela démontre l'importance de ne pas conserver le safran pendant de longues périodes à des températures élevées, car cela entraînerait des pertes significatives de ses composés actifs, qui sont responsables de ses propriétés organoleptiques.

Différences entre les composés : Bien que la crocine, la picrocrocine et le safranal présentent tous une diminution de concentration au fil du temps, il y a des différences dans l'intensité de la baisse. La crocine subit une baisse plus importante dès les premiers jours de stockage, tandis que la picrocrocine montre une baisse moins prononcée, et le safranal présente une tendance complexe avec des augmentations et des diminutions tout au long du processus.

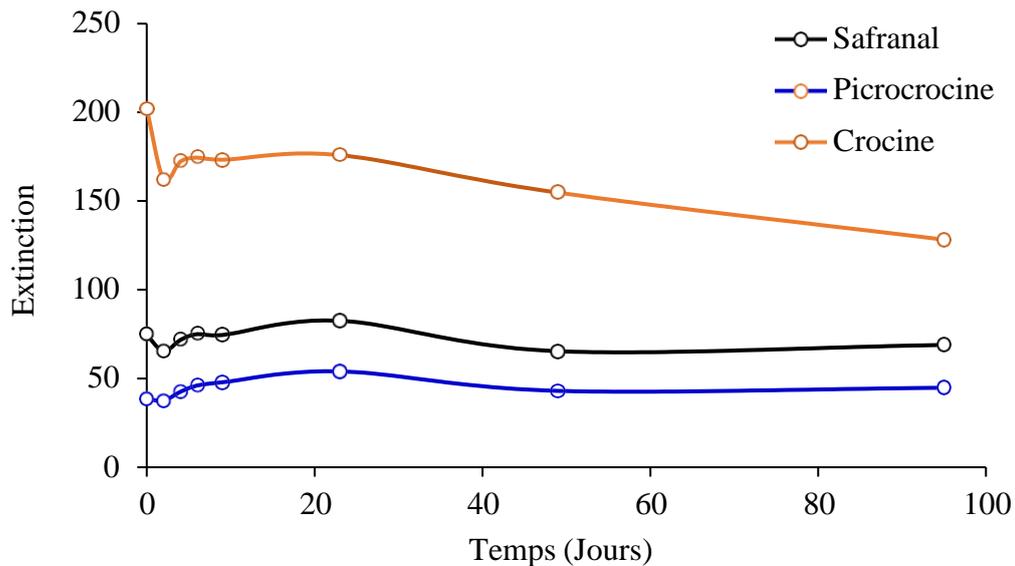


Figure 12 : Cinétique de dégradation de la crocine, picrocrocine et le safranal à la Température de 50°C.

- **Température de 37°C :**

Pour la crocine et la picrocrocine en observant qu'il y a 4 phases de dégradation (figure 13).

Dégradation initiale : Au cours des trois premiers jours, la concentration du crocine et la picrocrocine diminuent, cela est peut-être dû au traitement thermique appliqué.

Réaction chimique : Entre le jour 3 et le jour 9, la concentration de crocine et la picrocrocine a augmenté progressivement. Cela peut être dû à des réactions chimiques spécifiques qui se produisent dans la poudre de safran, entraînant une transformation ou une libération du crocine.

L'équilibre entre la dégradation et la formation : Après le jour 9, les concentrations du crocine et de la picrocrocine sont restées relativement stables, indiquant peut-être un équilibre entre la dégradation du crocine et la picrocrocine existante et la formation de nouveaux composés.

Dégradation finale : À la fin de la période de stockage (jour 160), la concentration de crocine a diminué considérablement à 71.40 ainsi que pour la picrocrocine jusqu'à 19.10. Cette diminution peut être le résultat d'une dégradation accrue du crocine et la picrocrocine au fil du temps à la température de 37°C.

Le safranal.

Dégradation initiale : La diminution de la concentration de safranal au cours des 3 premiers jours peut s'expliquer par une certaine dégradation initiale due à la température élevée de 37°C et à l'exposition à des conditions de stockage stressantes.

Réactions chimiques : Entre le jour 3 et le jour 9, la concentration de safranal a augmenté, ce qui peut être attribué à des réactions chimiques spécifiques qui se sont produites pendant cette période. Ces réactions pourraient être liées à la dégradation d'autres composés ou à la formation de nouveaux composés.

Stabilité relative : Après le jour 9, la concentration de safranal a montré des variations, mais est restée globalement stable jusqu'au jour 160. Cette stabilité relative peut être attribuée à un équilibre entre la dégradation du safranal existant et la formation de nouveaux composés à cette température.

Dégradation finale : À la fin de la période de stockage (jour 160), la concentration de safranal a diminué considérablement à 32.10. Cette diminution peut être le résultat d'une dégradation accrue du safranal au fil du temps à la température élevée de 37°C.

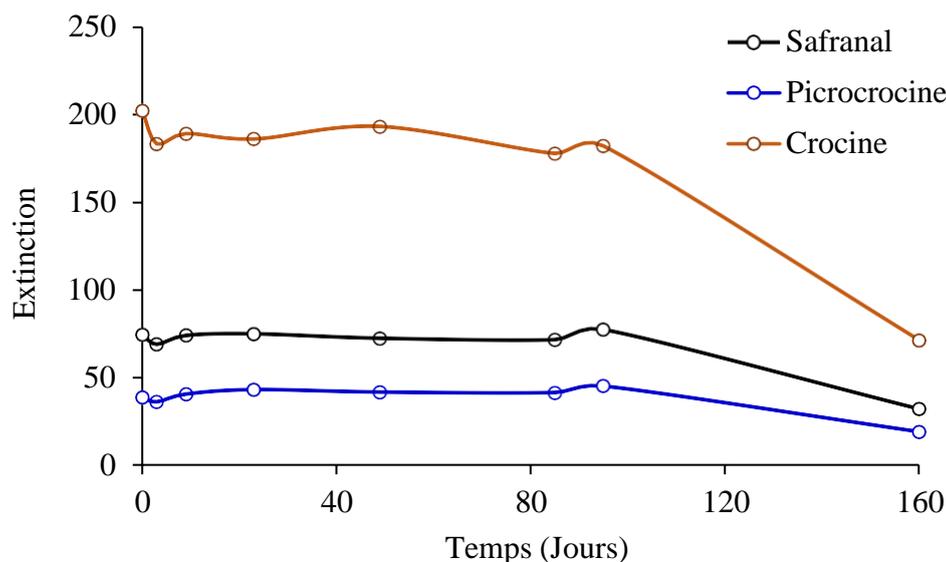


Figure 13 : Cinétique de dégradation de la crocine, picrocrocine et le safranal à la Température de 37°C.

- **Température de 28°C**

On peut observer que la teneur en crocine diminue au fil du temps (figure 14). Cela est courant pour de nombreuses substances bioactives, car ces composés peuvent subir des changements chimiques et biologiques lorsqu'ils sont soumis au stockage prolongé.

La crocine : Le jour 1, la teneur en crocine est le plus élevé (202.20). Cela peut être dû au fait que le safran est frais, donc sa teneur en crocine est à son maximum. Après 3 jours, la teneur en crocine diminue légèrement à 183.23, puis elle remonte légèrement après 9 jours à 189.07. Ensuite, elle commence à fluctuer davantage, mais globalement, on observe une tendance à la baisse. On note une baisse significative de la teneur en crocine après 49 jours, passant de 193.17 à 177.77. Cela pourrait être dû à des réactions chimiques ou à une détérioration du produit en raison de la chaleur et du temps. La teneur en crocine reste relativement stable entre 49 jours et 85 jours, juste une légère baisse de la concentration de crocine est notée, mais cette diminution est considérée comme négligeable étant donné qu'elle est relativement faible. Par la suite on remarque une légère augmentation de 177.77 à 182.03. Le dernier jour (160 jours), la teneur en crocine chute drastiquement à 71.40. Cela indique une dégradation importante du safran au cours de la période de stockage. Cependant les valeurs de picrocrocine semblent varier au fil du temps. On observe une légère diminution de la picrocrocine entre le premier jour (38.73) et le troisième jour (36.57), puis une légère augmentation entre le troisième jour et le neuvième jour (38.37). Entre le neuvième jour et le 49e jour, on constate une tendance générale à la baisse de la picrocrocine, avec une légère remontée à partir du 23e jour (42.57). Cependant, après le 49e jour, la picrocrocine semble augmenter de manière significative, atteignant un pic de 46.83 au 85e jour. Par la suite, elle diminue à nouveau et atteint 42.57 au 95e jour, puis chute considérablement à 17.93 au 160e jour. Il est important de noter que ces résultats sont spécifiques à la picrocrocine et ne reflètent pas nécessairement les changements dans d'autres composés du safran ou les caractéristiques sensorielles de la poudre de safran.

Pour le safranal : La diminution de la concentration de safranal au cours des 3 premiers jours peut s'expliquer par une certaine dégradation initiale due à des facteurs tels que l'exposition à l'air, à la lumière ou à d'autres conditions environnementales spécifiques à notre expérience de stockage. Entre le jour 3 et le jour 23, la concentration de safranal a augmenté progressivement. Cela peut être dû à un processus de maturation ou de développement des composés volatils du safran pendant cette période. La température de

stockage peut avoir favorisé cette évolution positive. Après le jour 23, la concentration de safranal a fluctué, mais est restée globalement stable jusqu'au jour 160. Cette stabilité relative peut indiquer un équilibre entre la dégradation et la formation de nouveaux composés dans la poudre de safran, résultant en des valeurs oscillant dans une certaine marge. Facteurs de conservation : Les conditions spécifiques de stockage, y compris la température de 28°C, peuvent avoir contribué à maintenir la stabilité relative de la concentration de safranal pendant la période de stockage. Cependant, il est important de noter que la concentration de safranal peut être influencée par d'autres facteurs, tels que l'humidité, la lumière et la qualité initiale du safran. À la fin de la période de stockage (jour 160), la concentration de safranal a diminué considérablement à 28.93. Cette diminution peut être le résultat d'une dégradation accrue du safranal au fil du temps, entraînant une concentration réduite du composé.

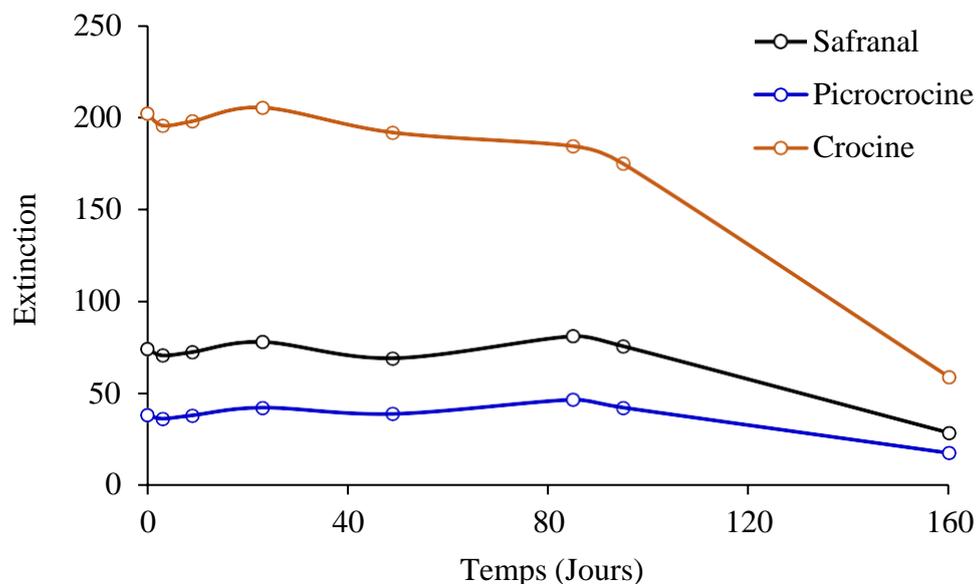


Figure 14 : Cinétique de dégradation de la crocine, picrocrocine et le safranal à la Température de 28°C.

- **Température de 4°C**

Dans cette étude, nous avons examiné l'effet du stockage de la poudre de safran à 4°C dans un réfrigérateur sur la concentration de crocine, de la picrocrocine et du safranal sur une période de 194 jours.

Les résultats de l'étude (figure 15) ont montré des variations dans la concentration du crocine, picrocrocine et du safranal pendant la période de stockage à 4°C. Au premier jour la concentration du crocine était de 202,20, qui a augmenté légèrement à 205,33 après 9 jours. Après 88 jours de stockage, la concentration de crocine a atteint 237,60 puis a diminué à 190,60 après 194 jours.

En ce qui concerne la picrocrocine, la concentration initiale était de 38,73 légèrement réduite à 38,67 après 9 jours. Après 88 jours, une augmentation significative de la concentration a été observée, atteignant 48,07, puis a diminué légèrement à 38,07 après 194 jours de stockage.

Pour le safranal, la concentration initiale était de 74,57, puis a diminué légèrement à 72,90 après 9 jours. Après 88 jours de stockage, la concentration a augmenté à 91,20, puis a diminué à 70,50 après 194 jours.

Les variations observées dans la concentration du crocine, de la picrocrocine et du safranal pendant la période de stockage peuvent être attribuées à divers facteurs. La stabilité de ces composés peut être influencée par des réactions chimiques et enzymatiques, l'oxydation et d'autres processus qui se produisent au fil du temps.

La croissance de la concentration du crocine observée au jour 9 peut être due à des réactions de formation ou à une libération des précurseurs du crocine pendant le stockage. Cependant, la diminution ultérieure peut être due à des réactions de dégradation qui se produisent au fil du temps.

La variation de la picrocrocine et du safranal peut également être attribuée au processus de formation, de dégradation qui peuvent influencer la concentration de ces composés.

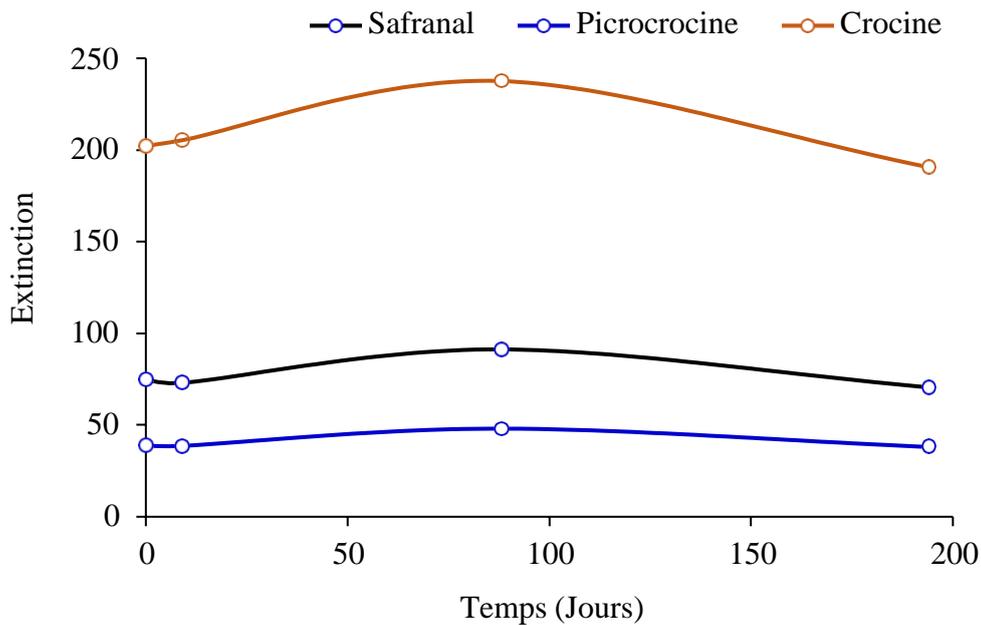


Figure 15 : Suivi de l'évolution et de la stabilisation de la crocine, picrocrocine et safranal à la température de 4°C.

- **Micro-ondes**

Cette méthode de traitement par micro-ondes a été choisie en raison de ses avantages potentiels tels que la rapidité, l'uniformité de la chaleur et la capacité d'augmenter l'efficacité dans l'accélération de dégradation des composés bioactifs. L'augmentation de la puissance et de la durée du traitement peut favoriser la rupture des parois cellulaires et faciliter la libération des composés souhaités présents dans la poudre de safran.

Tendance générale : En observant les valeurs du crocine, picrocrocine et safranal au fil du temps (figure 16), on peut noter des fluctuations dans leurs concentrations pendant le processus de stockage. Certaines substances semblent augmenter avant de diminuer, tandis que d'autres ont une tendance plus constante.

Croissance initiale et diminution ultérieure : La concentration du crocine semble diminuer au début du processus de stockage (1 à 3 minutes), puis elle remonte légèrement et se stabilise par la suite, avec une légère baisse vers la fin. La picrocrocine et le safranal montrent également une légère baisse au début, mais leur concentration augmente régulièrement jusqu'à un certain point avant de diminuer légèrement.

Augmentation significative à 18 minutes : Une observation importante est l'augmentation significative des concentrations de toutes les substances à 18 minutes de stockage, en particulier pour la crocine et le safranal. Cela peut indiquer une libération ou une augmentation des composés actifs du safran à ce moment précis.

Stabilité après 18 minutes : Après 18 minutes, les concentrations du crocine, picrocrocine et safranal semblent se stabiliser et varier légèrement jusqu'à la fin du processus de stockage (28 min).

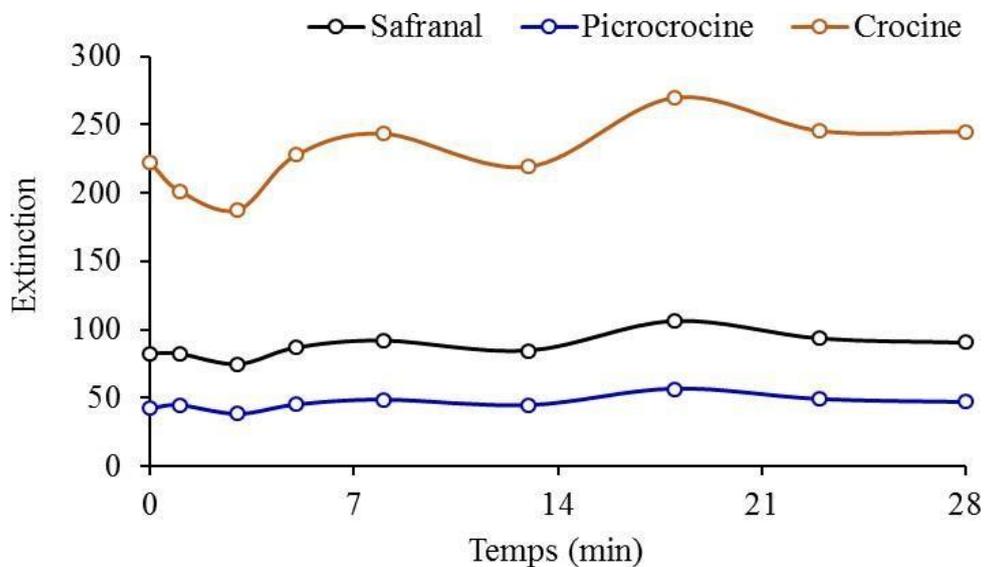


Figure 16 : Suivi de l'évolution et de la stabilisation de la crocine, picrocrocine et le safranal au micro-onde à une puissance de 1000W.

Une étude portant sur le séchage du safran en utilisant trois méthodes : traditionnelle, espagnole modifiée et four à micro-ondes, a étudié les changements dans les indices chimiques du safran selon l'ISO 3632 pendant 6 mois de stockage, à la fois dans l'obscurité et à la lumière. Les résultats ont indiqué que le temps de stockage et la méthode de séchage avaient un effet significatif sur les propriétés chimiques telles que la force de coloration, l'arôme et les valeurs d'amertume. Les échantillons séchés selon une méthode espagnole modifiée à 55°C présentaient un pouvoir colorant plus élevé que ceux séchés selon une méthode traditionnelle à 25°C. Les échantillons séchés au four à micro-ondes (300 watts) et selon une méthode espagnole modifiée étaient identiques, mais les échantillons traditionnels présentaient des valeurs nettement inférieures. Le pouvoir colorant du safran a diminué au cours du stockage, tandis que l'arôme

a augmenté, et l'amertume n'a pas suivi un schéma régulier. De plus, il a été noté que dans les échantillons exposés à la lumière artificielle (20 watts), le pouvoir colorant a augmenté, tandis que les valeurs d'amertume sont restées inchangées et que les valeurs d'arôme ont augmenté au début, puis sont restées presque intactes (**Bolandi et Ghodduzi., 2006**).

Une autre étude s'est intéressée à l'effet du stockage et de la culture sur la teneur en crocine du stigmate séché. Cette étude a démontré que la teneur en crocine des échantillons stockés à l'obscurité dans la région d'Alborz était supérieure à celle des autres conditions de stockage. Cependant, la différence entre les conditions de stockage à l'obscurité et au réfrigérateur était négligeable, seulement de 10 ppm. Dans la région de Téhéran, il n'y avait pas de différence significative entre les conditions de stockage à l'abri de la lumière et à l'obscurité, mais la teneur en crocine des échantillons réfrigérés était inférieure à celle des autres conditions de stockage.

Dans une autre étude menée par **Jaimand et al. (2007)**, des fleurs de safran ont été collectées en décembre 2003. Les échantillons ont été séchés et conservés pendant 20 mois dans trois conditions : à la lumière, à l'obscurité et au réfrigérateur. Ils ont utilisé la chromatographie liquide à haute performance (CLHP) pour analyser les échantillons. Les résultats ont montré que la teneur en crocine était de 320 ppm à la lumière, 380 ppm à l'obscurité et 280 ppm au réfrigérateur. Une autre étude réalisée par **Raina et al. (1996)** a également porté sur le séchage des échantillons. Ils ont constaté que la teneur en crocine des stigmates était plus élevée lorsqu'ils étaient séchés à des températures de 50°C et 60°C par rapport au séchage à l'ombre. Cependant, le séchage à l'ombre prend beaucoup de temps, ce qui permet aux activités enzymatiques et non enzymatiques de se poursuivre et de réduire la teneur en crocine.

En ce qui concerne la teneur en picrocrocine, responsable de la saveur du safran, il n'y a pas de différence significative entre les échantillons non cuits et cuits à différents moments. Une étude antérieure sur les différentes méthodes de déshydratation du safran (**Maghsoodi et al., 2012**) a montré que les teneurs en picrocrocine ne sont pas affectées par les différentes températures et méthodes de séchage. En revanche, le safranal, huile essentielle volatile responsable de l'arôme caractéristique, voit sa quantité diminuer avec l'augmentation du temps de cuisson. Après 10 minutes de cuisson, aucune trace n'est détectée.

Conclusion

Conclusion :

Au terme de notre étude sur l'effet de stockage des composés bioactifs de safran, qui a été récolté dans la région d'Iben Badis de la willaya de Constantine, il a été soumis à différentes méthodes de stockage (à des températures de 70, 50, 37, 28, 4°C durant une période de 6 mois ainsi un chauffage par micro-onde à une puissance de 1000W), dans le but de suivre la cinétique de dégradation des substances bioactives à savoir la crocine, la picrocrocine et le safranal.

Les résultats obtenus confirment que le safran de la région d'Iben Badis est classé dans la première catégorie selon la norme ISO 3632-2.

Il a été démontré que la crocine, picrocrocine et le safranal subissent certaines dégradations durant quelques périodes de stockage, ce qui explique l'influence du traitement thermique sur ces trois substances en accélérant les réactions chimiques et enzymatiques.

Les températures de stockage élevé (70°C et 50°C) entraînent une diminution prononcée dans les concentrations des substances bioactives de safran, Ainsi que l'interaction entre ces derniers forment d'autres molécules plus complexes qui protègent les composants sensibles à la dégradation. Les propriétés antioxydantes ont contribué également à la protection contre des dommages causés par la chaleur et l'oxydation.

Par ailleurs les températures de (37°C) et de (28°C) ont révélé une observation intrigante, une stabilisation temporaire des composés bioactifs du safran a été constatée pendant une période définie avant leurs dégradations. Cette observation suggère que les conditions de stockage à ces températures spécifiques peuvent jouer un rôle important dans la préservation des propriétés bioactives du safran, du moins pour une période limitée. Cependant, il est impératif de noter que malgré cette stabilisation initiale, la dégradation ultérieure des composés bioactifs reste inévitable avec le temps.

Pour les conditions de stockage plus frais (4°C) ont révélé des variations significatives dans les concentrations des substances bioactives de safran. Il est clair que le stockage à basse température contribue à maintenir la qualité du safran sur une période plus longue par rapport à un stockage à des températures plus élevées.

Enfin, les résultats obtenus révèlent une dynamique complexe : d'un côté, les substances bioactives du safran montrent une certaine sensibilité à la dégradation, tandis que de l'autre, la présence de divers paramètres ainsi que la formation d'autres

composés qui protègent ces substances se révèlent être des facteurs clés pour atténuer cette perte.

Ces résultats soulignent l'importance de prendre en compte les conditions de stockage lors de l'utilisation du safran à des fins thérapeutiques ou alimentaire, car elles peuvent influencer la qualité et l'efficacité de ses composés actifs.

En termes de perspective dans le but de compléter ce projet, il serait souhaitable d'utiliser :

- ✓ Des méthodes analytiques avancées, telles que la chromatographie liquide haute performance (HPLC) et la spectrométrie de masse.
- ✓ Des analyses sensorielles et organoleptiques pour évaluer les changements de saveur, d'arôme et de couleur du safran.
- ✓ Incorporation de safran dans des aliments.

Références bibliographiques

A

Abdullaev, F. I. (2002). Cancer chemopreventive and tumoricidal properties of saffron (*Crocus sativus L.*). *Experimental biology and medicine*, 227(1), 20-25.

Aguilera, Y., Dueñas, M., Estrella, I., Hernández, T., Benitez, V., Esteban, R. M., Martín-Cabrejas, M. A. (2011). Phenolic profile and antioxidant capacity of chickpeas (*Cicer arietinum L.*) as affected by a dehydration process. *Plant foods for human nutrition*, 66, 187-195.

Shah, Z. A., Mir, R., Matoo, J. M., Dar, M. A., Beigh, M. A. (2017). Medicinal importance of saffron: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(5), 2475-2478.

Ait Oubahou, A. (2009). *Bonnes pratiques agronomiques de la conduite technique du safran dans la region de Taliouin-Taznakht*. FAO/TCP/MOR/320.

Anonyme. (2012). La culture du safran en régions arides. (Fiche technique) C.R.S.T.R.A ; Biskra Algérie, 5.

Azizi, H. (2017). Valorisation de la culture du safran en Algérie, présentation au Rencontre National des safraniers Algériens, organisée par MADRP à zeralda, Alger.

B

Benmostefa, I., Guellil, Z. (2017). *Dosage des polyphénols de la fleur de Crocus sativus. L.* (Mémoire de master, université Abou bakrBelkaid, Tlemcen). 17-20-47.

Bergoin, M. (2005). *Application du concept de raffinage végétal au safran du Quercy (Crocus sativus) pour la valorisation intégrée des potentiels aromatiques et colorants* (Doctoral dissertation), 3-21.

Birouk, A., Aboudrare, A., Ait-oubahou, A., Kenny, L., El Bennoury, H. (2011). Guide des bonnes pratiques de production du safran dans la région de Taliouine-Tazenakht. *Rapport de la FAO*.

Bolandi, M., Ghoddusi, H. B. (2006). Flavour and colour changes during processing and storage of saffron (*Crocus sativus L.*). In *Developments in food science*. 43, 323-326.

Bouden, H., Kadri, A. (2019). *Contrôle de qualité du café et du safran*. (Mémoire de master, université Blida 1, Blida). 1-12.

C

capacity of chickpeas (*Cicer arietinum L.*) as affected by a dehydration process. *Plant Foods Human Nutrition*, 66, 187–195.

Chevalier, A. (1926). La culture du Safran (Suite et fin). *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 6(60), 490-501.

Christodoulou, E., Kadoglou, N. P., Kostomitsopoulos, N., Valsami, G. (2015). Saffron: a natural product with potential pharmaceutical applications. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 67(12), 1634-1649.

Craft, B. D., Kosińska, A., Amarowicz, R., Pegg, R. B. (2010). Antioxidant properties of extracts obtained from raw, dry-roasted, and oil-roasted US peanuts of commercial importance. *Plant foods for human nutrition*, 65, 311-318.

D

Das, I., Das, S., Saha, T. (2010). Saffron suppresses oxidative stress in DMBA-induced skin carcinoma: A histopathological study. *Acta histochemica*, 112(4), 317-327.

Djeriri, R., Douzi, F. Z. (2017). Tests phytochimiques sur la fleur de *Crocus sativus*. L (Mémoire de master, Faculté des sciences de la nature et de la vie, et sciences de la terre et de l'univers, Tlemcen). 23.

G

Ganaie, D. B., Singh, Y. (2019). Saffron in Jammu & Kashmir. *Int. J. Res. Geogr*, 5(2), 1-12.

Ghaffari, S., Roshanravan, N. (2019). Saffron; An updated review on biological properties with special focus on cardiovascular effects. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 109, 21-27.

G Gutheil, W., Reed, G., Ray, A., Anant, S., Dhar, A. (2012). Crocetin: an agent derived from saffron for prevention and therapy for cancer. *Current pharmaceutical biotechnology*, 13(1), 173-179.

Gheshm, R., Brown, R. N. (2021). Growing Saffron Crocus in the Northeastern United States: Effects of Winter Protection and Planting Density. *Hort Technology*, 31(4), 524-531.

Gregory, M. J., Menary, R. C., Davies, N. W. (2005). Effect of drying temperature and air flow on the production and retention of secondary metabolites in saffron. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(15), 5969-5975.

Gresta, f., Lombardo, G M., Siracusa, L., Ruberto, G. (2008). Saffron, an alternative crop for sustainable agricultural systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(1), 101.

H

Honan, W. H. (2004). Researchers Rewrite First Chapter for the History of Medicine. *The New York Times*.

J

Jadouali, S. M., Atifi, H., Bouzoubaa, Z., Majourhat, K., Gharby, S., Achemchem, F., Mamouni, R. (2018). Chemical characterization, antioxidant and antibacterial activity of Moroccan *Crocus sativus* L petals and leaves. *Journal of Materials and Environmental Science*, 9(1), 113-118.

Jaimand, K., Rezaee, M. B., Najafi Ashtiany, A. (2007). The effect of storing period of *Crocus sativus* L. Stigma on crocin content. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 23(2), 262-268.

Jawaheer, B., Goburdhun, D., Ruggoo, A. (2003). Effect of processing and storage of guava into jam and juice on the ascorbic acid content. *Plant Foods for Human Nutrition*, 58, 1-12.

John, C., et Leffingwell, Ph. D. (2002). Saffron. Leffingwell Report, 2, 5, 2.

Julve, P. (2020). *Index botanique, écologique et chronologique de la flore de France*. tela-botanica. <https://www.tela-botanica.org/projets/phytosociologie>.

K

Kanakis, C. D., Daferera, D. J., Tarantilis, P. A., Polissiou, M. G. (2004). Qualitative determination of volatile compounds and quantitative evaluation of safranal and 4-hydroxy-2, 6, 6-trimethyl-1-cyclohexene-1-carboxaldehyde (HTCC) in Greek saffron. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(14), 4515-4521.

Karasu, S., Bayram, Y., Ozkan, K., Sagdic, O. (2019). Extraction optimization crocin pigments of saffron (*Crocus sativus*) using response surface methodology and determination stability of crocin microcapsules. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 1515-1523.

Karimi, E., Oskoueian, E., Hendra, R., Jaafar, H. Z. (2010). Evaluation of *Crocus sativus* L. stigma phenolic and flavonoid compounds and its antioxidant activity. *Molecules*, 15(9), 6244-6256.

Katzer, G. (2001). Gernot Katzer's Spice Pages: Long Coriander (*Eryngium foetidum* L.), Validome, Germany.

Katzer, G. (2001). Saffron (*Crocus sativus* L.). *Gernot Katzer's Spice pages*.

Khorasany, A. R., Hosseinzadeh, H. (2016). Therapeutic effects of saffron (*Crocus sativus* L.) in digestive disorders: a review. *Iranian journal of basic medical sciences*, 19(5), 455.

Kesari en Provence. Quatresences. [En ligne] disponible sur : http://www.quatresences.com/phtc_kesari_webapp/quatresences/fr/accueil/accueil.faces.

(Page consultée le 17/07/2023).

Kyriakoudi, A., Ordoudi, S. A., Roldán-Medina, M., Tsimidou, M. Z. (2015). Saffron, a functional spice. *Austin Journal of Nutrition Food Sciences*, 3(1), 1059.

L

Lazérat, V. (2009). Secrets de safranière. *Lucien Souny; Saint-Paul*, 125.

Lahmadi, S., Guesmia, H., Zeguerrou, R., Maaoui, M., Belhamra, M. (2013). La culture du safran (*Crocus sativus* L.) en régions arides et semi arides : cas du sud est Algérien. *Journal Algérien des Régions Arides*, N° Spécial : 18-27.

Leone, S., Recinella, L., Chiavaroli, A., Orlando, G., Ferrante, C., Leporini, L., Menghini, L. (2018). Phytotherapeutic use of the *Crocus sativus* L.(Saffron) and its potential applications: A brief overview. *Phytotherapy Research*, 32(12), 2364-2375.

Le safran en Europe. (Sn). (2014). (Edition ALEXANDROS-SRL, 10 RUE kaplanon). Athènes. 220.

Liakopoulou-Kyriakides, M., Kyriakidis, D. A. (2002). *Crocus sativus*-biological active constituents. *Studies in natural products chemistry*, 26, 293-312.

M

Maghsoodi, V., Kazemi, A., Akhondi, E. (2012). Effect of different drying methods on saffron (*Crocus sativus* L) quality. 31(2), 85-86.

Manzo, A., Panseri, S., Bertoni, D., Giorgi, A. (2015). Economic and qualitative traits of Italian Alps saffron. *Journal of Mountain Science*, 12, 1542-1550.

Mecocci, P., Tinarelli, C., Schulz, R.J., Polidor M.C. (2014). Nutraceuticals in cognitive impairment and Alzheimer's disease. Nutraceuticals and dementia. *International Journal of Biological Macromolecules*, 5, 1-11.

Mehrnia, M. A., Jafari, S. M., Makhmal-Zadeh, B. S., Maghsoudlou, Y. (2016). Crocin loaded nano-emulsions: Factors affecting emulsion properties in spontaneous emulsification. *International journal of biological macromolecules*, 84, 261-267.

Milajerdi, A. R., Bitarafan, V., Mahmoudi, M. (2015). A review on the effects of saffron extract and its constituents on factors related to neurologic, cardiovascular and gastrointestinal Diseases. *Journal of Medicinal Plants*, 14(55), 9-28.

Mousavi, S. Z., Bathaie, S. Z. (2011). Historical uses of saffron: Identifying potential new avenues for modern research. *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 1(2), 57-66.

Moratalla-López, N., Bagur, M. J., Lorenzo, C., Martínez-Navarro, M. E., Salinas, M. R., Alonso, G. L. (2019). Bioactivity and bioavailability of the major metabolites of *Crocus sativus* L. flower. *Molecules*, 24(15), 2827.

Mzabri, I., Addi, M., Berrichi, A. (2019). Traditional and modern uses of saffron (*Crocus sativus*). *Cosmetics*, 6(4), 63.

Moghaddasi, M. S. (2010). Saffron chemicals and medicine usage. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(6), 427-430.

Mazabri, K., Romani, M., Kouddane, N., Boukroute, A., Berrichi, A., (2021). the geomorphology mal behavior of saffron under the environ mental conditions of four areas in Eastern Morocco mater today. 13(3), 1062-1069.

Molina, R. V., Valero, M., Navarro, Y., Guardiola, J. L., Garcia-Luis, A. J. S. H. (2005). Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.). *Scientia horticulturae*, 103(3), 361-379.

Mzabri, I., Addi, M., Berrichi, A. (2019). Traditional and modern uses of saffron (*Crocus sativus*). *Cosmetics*, 6(4), 63.

N

Nathalie, C. (2014). *Effet protecteur du safran contre la cardiotoxicité de la doxorubicine en condition ischémique*. (Thèse de doctorat, université de Reims Champagne, Ardenne). 86-87-93-95.

P

Palomares, C. (2015). *Le safran, précieuse épice ou précieux médicament ?* (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).

Phylactiv : pour une beauté sans compromis. Capgeris. [En ligne] disponible sur : <http://www.capgeris.com/beaute-1462/phyl-activ-pour-une-beaute-sans-compromis-a13011.htm>. (Page consultée le 17/07/2023)

Poma, A., Fontecchio, G., Carlucci, G., Chichiricco, G. (2012). Anti-inflammatory properties of drugs from saffron crocus. *Anti-Inflammatory & Anti-Allergy Agents in Medicinal Chemistry (Formerly Current Medicinal Chemistry-Anti-Inflammatory and Anti-Allergy Agents)*, 11(1), 37-51.

R

Rahaiee, S., Shojaosadati, S. A., Hashemi, M., Moini, S., Razavi, S. H. (2015). Improvement of crocin stability by biodegradable nanoparticles of chitosan-alginate. *International journal of biological macromolecules*, 79, 423-432.

Rahmani, A. H., Khan, A. A., Aldebasi, Y. H. (2017). Saffron (*Crocus sativus*) and its active ingredients: Role in the prevention and treatment of disease. *Pharmacognosy Journal*, 9(6), 873-879.

Rahmouni, S., Rhgis, S. (2016). Etude phytochimique et évaluations des activités anti-oxydantes et antibactériennes des espèces : *Lavandula steochas*, *Glycyrrhizza glabra*. L, *Crocus sativus*. L et *Linum usitassimum* L. (Mémoire de master, université frères Mentouri, Constantine). 1- 9.

Rahimi, M. (2015). Chemical and Medicinal Properties of Saffron. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 4(3), 69-70-72-73-78-81.

Raina, B. L., Agarwal, S. G., Bhatia, A. K., Gaur, G. S. (1996). Changes in pigments and volatiles of Saffron (*Crocus sativus* L) during processing and storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 71(1), 27-32.

S

Samarghandian, S., Borji, A. (2014). Anticarcinogenic effect of saffron (*Crocus sativus* L.) and its ingredients. *Pharmacognosy research*, 6(2), 99.

Schmidt, M., Betti, G., Hensel, A. (2007). Saffron in phytotherapy: pharmacology and clinical uses. *Wiener Medizinische Wochenschrift (1946)*, 157(13-14), 315-319.

Serrano-Díaz, J., Sánchez, A. M., Maggi, L., Martínez-Tomé, M., García-Diz, L., Murcia, M. A., et Alonso, G. L. (2012). Increasing the applications of *Crocus sativus* flowers as natural antioxidants. *Journal of Food Science*, 77(11), C1162-C1168.

Siddiqui, M.J., Saleh, S.M., BintiBasharuddin, N.B., BintiZamri, S.H., MohdNajib, M. H., Muhammad, Z.B., bintiMohd Noor, N.A., Hanin, N., Binti, M., Norazian, M.H Alfi, K. (2018). Saffron (*Crocus sativus*. L): As an antidepressant. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 10, 173.

Shokrpour, M. (2019). Saffron (*Crocus sativus* L.) breeding: opportunities and challenges. *Advances in Plant Breeding Strategies: Industrial and Food Crops*: 6, 675-706.

Srivastava, R., Ahmed, H., Dixit, R.K., Dharamveer, Saraf, S.A. (2010). *Crocussativus* L. A comprehensive review. *PharmacognosyReviews*, 4(8), 200-208.

Standardization of ISO 3632-1:2011 Saffron (*Crocus sativus* L.) — Part 1: Specification. 2nd ed. Geneva, Switzerland : ISO ; 2011.

T

Tarantilis, P. A., Tsoupras, G., Polissiou, M. (1995). Determination of saffron (*Crocus sativus* L.) components in crude plant extract using high-performance liquid chromatography-UV-visible photodiode-array detection-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 699(1-2), 107-118.

W

Winterhalter, P., Straubinger, M. (2000). Saffron—renewed interest in an ancient spice. *Food Reviews International*, 16(1), 39-59.

Z

Zeraatkar, M., Khalili, K., Foorginejad, A. (2015). Studying and Generation of Saffron Flower's 3D Solid Model. *Procedia Technology*, 19, 62-69.

Zobeidi, Z., Benkhalifa, A. (2014). La culture de safranier (*crocus sativus* L) en Algérie. 2, 2.

Résumé

La qualité de safran est étroitement liée à sa richesse en composés bioactive dont la crocine, pircrococine et safranal mais également à l'aptitude de stockage et la préservation de ces composés. Pour cela trois méthodes de stockage en été effectuée sur la poudre de safran : stockage par étuves (70, 50, 37 et 28°C) et par réfrigération (4°C) pendant une période de 6 mois ainsi qu'une cinétique aux micro-ondes (1000W). Les résultats de l'étude montrent que le safran d'Iben Badis est classé dans la première catégorie selon la norme ISO 3632-2. Cependant, il a été constaté que le safran est sensible aux traitements thermiques, particulièrement à des températures élevées, allant jusqu'à 70°C. En ce qui concerne la crocine, la picrocrocine et le safranal, l'interaction entre ces composés a conduit à la formation de molécules plus complexes qui protègent les composants sensibles à la dégradation. Les propriétés antioxydantes du safran ont également joué un rôle dans la protection contre les dommages causés par la chaleur et l'oxydation. Cependant, L'absence d'humidité pendant les derniers jours de stockage a également contribué à maintenir la stabilité de ces composés pour certaines températures.

Mots clés: Safran, crocine, picrocrocine, safranal, stockage, stabilité.

Abstract

The quality of saffron is closely linked not only to its richness in bioactive compounds such as crocin, picrocrocic and safranal, but also to the ability to store and preserve these compounds. To this end, three storage methods were applied to saffron powder: oven storage (70, 50, 37 and 28°C) and refrigeration (4°C) for a period of 6 months, as well as microwave kinetics (1000W). The results of the study show that Iben Badis saffron is classified in the first category according to ISO 3632-2. However, it was found that saffron is sensitive to heat treatment, particularly at high temperatures of up to 70°C. In the case of crocin, picrocrocic and safranal, the interaction between these compounds has led to the formation of more complex molecules that protect components sensitive to degradation. Saffron's antioxidant properties also played a role in protecting against damage caused by heat and oxidation. However, the absence of humidity during the final days of storage also helped to maintain the stability of these compounds at certain temperatures.

Key words: Saffron, crocin, picrocrocic, safranal, storage, stability.