



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N° d'enregistrement

Université de Ghardaïa

/ / / / / / / /

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم هندسة الطرائق

Département de Génie des procédés

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine : Sciences et de la Technologie

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie chimique

Thème

Développement de solutions innovantes de séchage solaire adaptées aux fruits et légumes, en intégrant des méthodes de prétraitement et des séchoirs solaires optimisés

Présenté par :

EL FATMI Fatima Zahra

HAIMOUD Arwa

Soutenue publiquement le 26 /06/2025

Devant le jury composé de :

Dr. AOUF Mohammed	Maître de conférence B	Université Ghardaïa	Président
Dr. LAGHOUITER Oum kelthoum	Maître de conférence B	Université Ghardaïa	Examinateur
Dr. DAOUD Djamel	Directeur de recherche	URAER-Ghardaïa	Encadrant
Dr. BENSEDDIK Abdelouahab	Directeur de recherche	URAER-Ghardaïa	Co-encadrant

République Algérienne Démocratique et
Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur Et
de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaia



Incubateur Université de Ghardaia

Faculté des sciences et techniques
Département de Génie des procédés

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de MASTER en
Génie chimique dans le cadre de la résolution ministérielle 008 modifiant
la résolution 1275

**Développement de solutions innovantes de séchage
solaire adaptées aux fruits et légumes, en intégrant
des méthodes de prétraitement et des séchoirs
solaires optimisés**

Mémoire de fin d'études – startup/brevet

Préparé par les étudiants :

- EL FATMI Fatima Zahra
- HAIMOUD Arwa

L'ENCADRANT :

Dr. DAOUD Djamel
Co-Encadrant :
BENSEDDIK Abdelouahab

Année universitaire : 2024–2025

Résumé

Cette étude a permis d'évaluer l'impact de différents prétraitements chimiques (acide citrique, acide ascorbique, NaCl, CaCl₂, saccharose, glucose) et thermiques (blanchiment à l'eau chaude ou vapeur) sur la cinétique de séchage, la qualité et la capacité de réhydratation de cinq produits végétaux : fraises, pommes, bananes, oignons et betteraves. Les expérimentations ont été conduites dans un séchoir solaire indirect, dans le but de proposer des solutions adaptées à une conservation durable et économe en énergie. Les résultats ont montré que les prétraitements permettent d'accélérer le processus de déshydratation, de préserver la couleur naturelle des produits, d'améliorer la texture et de favoriser une meilleure réhydratation. L'acide citrique s'est révélé efficace pour réduire le brunissement enzymatique, tandis que le CaCl₂ a renforcé la fermeté des tissus. Les sucres, bien que ralentissant légèrement le séchage, ont amélioré la saveur et la texture. Le blanchiment a contribué à l'inactivation enzymatique et à l'amélioration de l'hygiène microbiologique. Chaque produit a réagi différemment selon sa composition intrinsèque. Les fraises ont mieux conservé leur couleur avec l'acide citrique ; les pommes ont montré une meilleure fermeté et une texture plus agréable après trempage acide ; les bananes ont conservé leur douceur grâce au sucrage ; les betteraves ont nécessité un blanchiment pour une texture optimale ; les oignons ont montré un meilleur comportement avec les traitements combinés acide/sels.

Mots clés : Prétraitement ; Séchoir solaire indirect ; déshydratation ; Qualité ; Réhydratation.

Abstract

This study evaluated the impact of various chemical pretreatments (citric acid, ascorbic acid, NaCl, CaCl₂, sucrose, glucose) and thermal pretreatments (blanching in hot water or steam) on the drying kinetics, quality, and rehydration capacity of five plant-based products: strawberries, apples, bananas, onions, and beets. The experiments were conducted using an indirect solar dryer to propose sustainable and energy-efficient preservation solutions. The results showed that pretreatments help accelerate the dehydration process, preserve the natural color of the products, improve texture, and enhance rehydration capacity. Citric acid proved effective in reducing enzymatic browning, while CaCl₂ increased tissue firmness. Sugars, although slightly slowing down drying, improved flavor and texture. Blanching contributed to enzymatic inactivation and better microbiological hygiene. Each product reacted differently depending on its intrinsic composition: Strawberries retained their color better with citric acid; apples exhibited better firmness and a more pleasant texture after acid soaking; bananas preserved their sweetness due to sugaring; beets required blanching to achieve optimal texture; and onions showed improved behavior with combined acid/salt treatments.

Keywords: Pretreatment; Indirect solar dryer; Dehydration; Quality; Rehydration.

ملخص

هذه الدراسة مكّنت من تقييم تأثير مختلف المعالجات المسبقة الكيميائية (حمض الستريك، حمض الأسكوربيك، كلوريد الصوديوم، كلوريد الكالسيوم، السكروز، الجلوكوز) والحرارية (السلق بالماء الساخن أو البخار) على حركية التجفيف، وجودة وقدرة إعادة الترطيب لخمسة منتجات نباتية: الفراولة، التفاح، الموز، البصل، والشمندر.

وقد أُجريت التجارب في مجفف شمسي غير مباشر، بهدف اقتراح حلول مناسبة للحفاظ على المنتجات بشكل مستدام وباستهلاك منخفض للطاقة.

أظهرت النتائج أن المعالجات المسبقة تساعد على تسريع عملية التجفيف، والحفاظ على اللون الطبيعي للمنتجات، وتحسين القوام، وتعزيز القدرة على إعادة الترطيب. وقد تبين أن حمض الستريك فعال في الحد من الاسمرار الأنزيمي، بينما عزّز كلوريد الكالسيوم من صلابة الأنسجة. أما السكريات، فرغم أنها أبطأت عملية التجفيف قليلاً، إلا أنها حسّنت النكهة والقوام. وساهم السلق في تعطيل الإنزيمات وتحسين السلامة الميكروبيولوجية.

وقد تفاعلت كل نبتة بشكل مختلف حسب تركيبها الداخلي؛ إذ حافظت الفراولة بشكل أفضل على لونها بفضل حمض الستريك، وأظهرت التفاحات صلابة أفضل وقواماً محبباً بعد النقع الحمضي، بينما احتفظ الموز بحلاوته بفضل إضافة السكر، وكان السلق ضرورياً للحصول على قوام مثالي للشمندر، وأظهر البصل نتائج أفضل مع المعالجات المركبة من الأحماض والأملاح.

الكلمات المفتاحية: المعالجة المسبقة، المجفف الشمسي الغير مباشر، الجفاف، الجودة، إعادة الترطيب.

Remerciements

Nous souhaitons tout d'abord exprimer notre profonde gratitude à **Allah Tout-Puissant**, pour nous avoir accordé la santé, la patience et la persévérance nécessaires à l'achèvement de ce travail.

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à **Mr DAOUD Djamel**, notre encadrant, pour son accompagnement constant, la rigueur de son suivi et la qualité de ses conseils tout au long de ce projet. Nous remercions également **Mr BENSEDDIK Abdelouahab** pour son assistance technique et sa disponibilité.

Nous exprimons aussi notre profonde reconnaissance à l'ensemble du corps enseignant du département de Génie des Procédés, pour la qualité de l'enseignement dispensé et l'encadrement assuré tout au long de notre formation. Nos remerciements s'adressent tout particulièrement à **Mme BOUAMER Khaira**, cheffe de département, pour son engagement et sa bienveillance. Nous remercions également les membres du jury monsieur le président de jury **Mr AOUF Mohammed** et l'examinatrice **Mme LAGHUITER Oum kelthoum** pour l'intérêt porté à ce travail et le temps qu'ils lui ont consacré.

Nos remerciements s'adressent également à **Mr DJAFER**, Directeur de l'**URAER-CDER de Ghardaïa**, pour avoir mis à notre disposition les moyens nécessaires à la réalisation de ce travail au sein de l'unité.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à **Melle OULAD HADJ YOUCEF Khadîdja**, ingénieure au laboratoire de biomasse, pour son accompagnement précieux, sa disponibilité constante et la qualité exemplaire de son appui technique, qui ont largement contribué à la réussite de ce projet.

Nos remerciements les plus chaleureux vont à **Mr le Directeur, M. TALEB Ahmed**, ainsi qu'à l'ensemble des membres de **l'incubateur**, pour leur soutien et leur accompagnement. Nous tenons à remercier tout spécialement **Mr BECHI Ismail** pour son appui précieux dans le domaine de l'entrepreneuriat et des startups.

Enfin, nous exprimons notre gratitude à nos **parents**, pour leur soutien moral, matériel et leur confiance tout au long de ce parcours, ainsi qu'à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce projet.

Qu'ils trouvent ici l'expression de notre reconnaissance la plus sincère.

Arwa et Fatima Zahra

Dédicace

À mes chers parents, qui ont toujours su allumer en moi cette flamme de persévérance et de confiance, je dédie ce travail avec tout mon amour et ma reconnaissance.

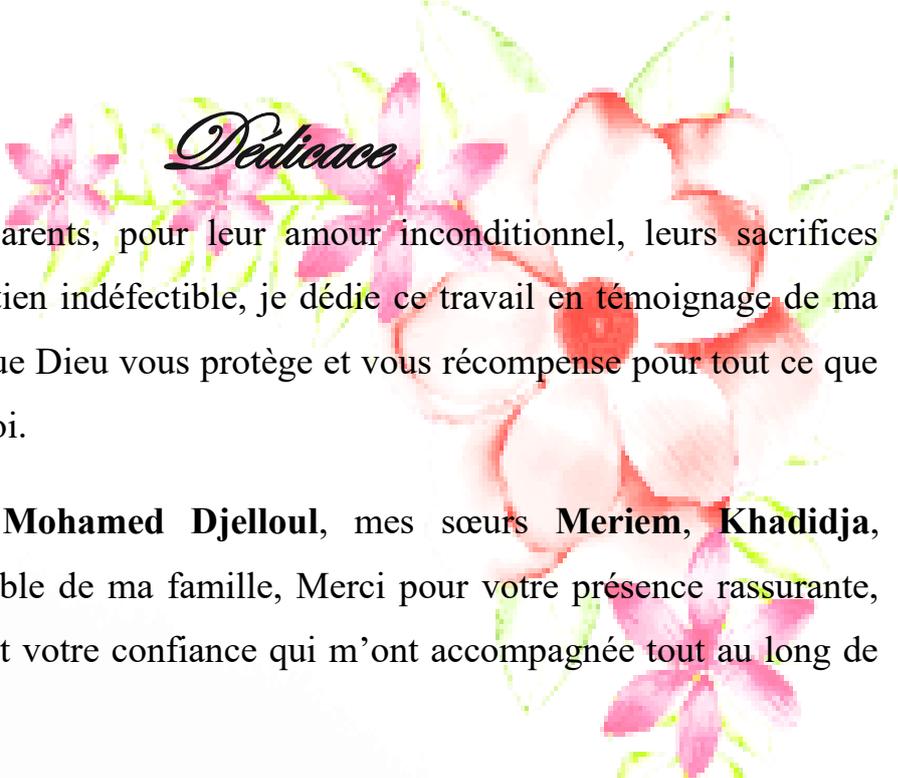
Merci de m'avoir offert une bonne éducation, de m'avoir soutenu et encouragé tout au long de mes études, d'avoir partagé mes joies comme mes peines, et d'avoir toujours cru en moi. Que Dieu m'accorde la force et les moyens de toujours prendre soin de vous.

Mes remerciements vont également à ma chère sœur **Noussiba** et mes chers frères **Khalil** et **Anes**, ainsi qu'à tous les membres de ma famille, pour leur présence, leur affection et leurs encouragements constants.

Je n'oublie pas mes amis fidèles (Khadidja, Fatima, Assia, Charifa, Nassiba, Anfel, Aya, Chaima, Raja, Fatima, Imane, Nourelhouda, Wissal, Istabrek, Fatima, Manar,...), dont le soutien, l'écoute et les encouragements ont été précieux tout au long de ce parcours.

Enfin, je dédie ce travail à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à sa réalisation et à qui j'exprime ma plus profonde gratitude.

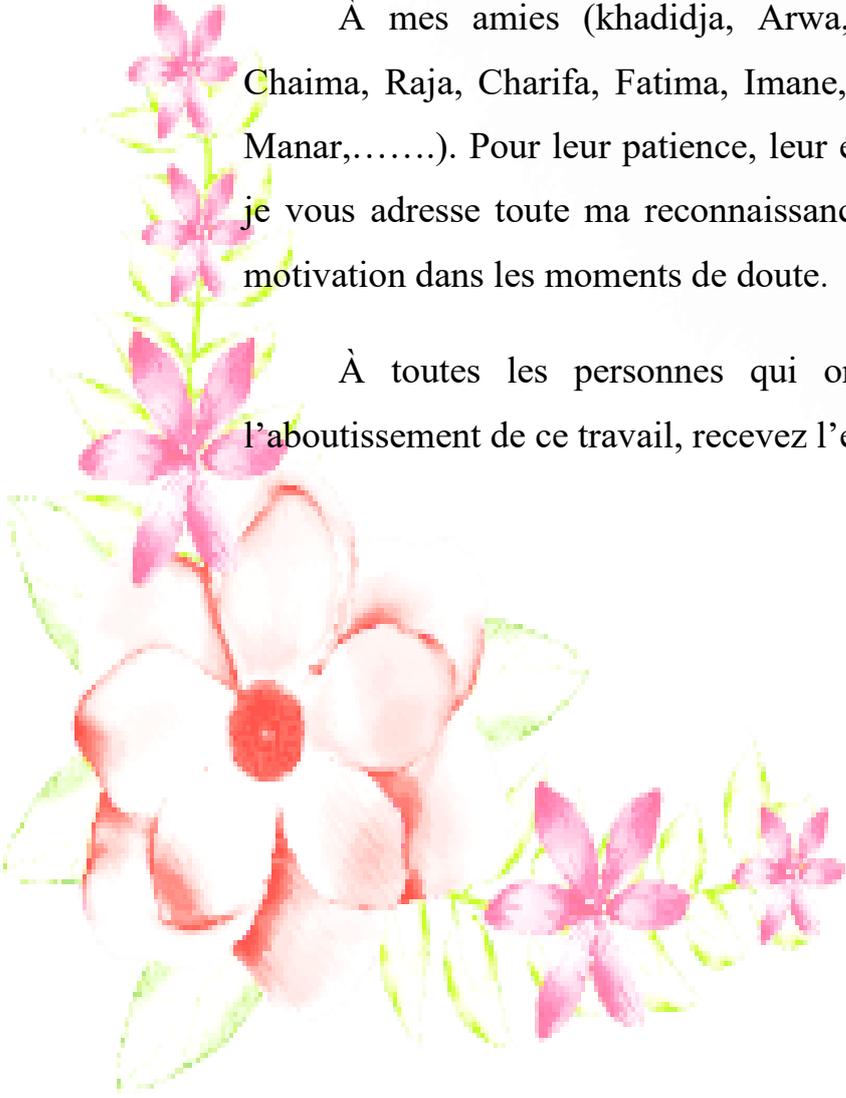
Arwa



Dedicace

À mes chers parents, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices silencieux et leur soutien indéfectible, je dédie ce travail en témoignage de ma gratitude profonde. Que Dieu vous protège et vous récompense pour tout ce que vous avez fait pour moi.

À mon frère **Mohamed Djelloul**, mes sœurs **Meriem**, **Khadidja**, **Ryhane**, et à l'ensemble de ma famille, Merci pour votre présence rassurante, vos encouragements et votre confiance qui m'ont accompagnée tout au long de ce parcours.



À mes amies (Khadidja, Arwa, Amira, Assia, Nassiba, Anfel, Aya, Chaima, Raja, Charifa, Fatima, Imane, Nourelhouda, Wissal, Istabrek, Fatima, Manar,.....). Pour leur patience, leur écoute et leurs encouragements sincères, je vous adresse toute ma reconnaissance. Votre présence m'a apporté force et motivation dans les moments de doute.

À toutes les personnes qui ont, de près ou de loin, contribué à l'aboutissement de ce travail, recevez l'expression de ma sincère gratitude.

Fatima Zahra

Liste des tableaux

Tableau I.1. Avantages et inconvénients pour les différents types de séchoirs solaires17
Tableau III. 1. Le Tableaux suivant représenter les conditions opératoires de prétraitement appliquées aux fraises lors de la première étape du procédé66
Tableau III. 2. Le Tableaux suivant représenter les conditions opératoires de prétraitement appliquées aux fraises lors de la deuxième étape du procédé66
Tableau III. 3. Le Tableaux suivant représenter les Conditions opératoires de prétraitement appliquées aux fraises lors de la troisième étape du procédé67
Tableau III. 4. Le Tableau représenter les conditions opératoires de prétraitement appliquées aux pommes lors de la première étape du procédé67
Tableau III. 5. Le Tableau représenter les conditions opératoires de prétraitement appliquées aux pommes lors de la deuxième étape du procédé68
Tableau III. 6. Le Tableau représenter les conditions opératoires de prétraitement appliquées aux bananes lors de la première étape du procédé68
Tableau III. 7. Le Tableau représenter les conditions opératoires de prétraitement appliquées aux bananes lors de la deuxième étape du procédé69
Tableau III. 8. Le Tableau représenter les conditions opératoires de prétraitement appliquées aux oignons70
Tableau III. 9. Le Tableau représenter les conditions opératoires de prétraitement appliquées aux betteraves70
Tableau III. 10. Modèles mathématiques du séchage solaire.....75
Tableau IV.1. La teneur en eau initiale à base humide (W_0) et à base sèche (X) des fraises92
Tableau IV.1. Résultats de la réhydratation des fraises séchées93
Tableau IV.2. Résultats statistiques des modèles de séchage solaire indirect et de prétraitement de fruit fraise.....95
Tableau IV.3. La teneur en eau initiale à base humide (W_0) et à base sèche (X) de pommes98
Tableau IV.4. Résultats de la réhydratation des fruits pommes99
Tableau IV.5. Résultats statistiques des modèles de séchage solaire indirect et de prétraitement de fruit pomme102

Liste des tableaux

Tableau IV.6. La teneur en eau initiale à base humide (W_0) et à base sèche (X) de bananes	105
Tableau IV.7. Résultats de la réhydratation de bananes	107
Tableau. IV.8. Résultats statistiques des modèles de séchage solaire indirect et de prétraitement de fruit banane	109
Tableau. IV.9. La teneur en eau initiale à base humide (W_0) et à base sèche (X) de bananes	111
Tableau. IV.10. Résultat de la réhydratation d'oignons	112
Tableau. IV.11. Résultats statistiques des modèles de séchage solaire indirect et de prétraitement légumes des oignons.....	115
Tableau. IV.12. La teneur en eau initiale à base humide (W_0) et à base sèche (X) de bananes	117
Tableau IV. 13. Le résultat de la réhydratation de betteraves	118
Tableau IV. 14. Résultats statistiques des modèles de séchage solaire indirect et de prétraitement de légume de betterave	120
Tableau IV. 15. Résultats de quelques analyses physico-chimiques de fraises	121
Tableau IV. 16. Résultats de quelques analyses physico-chimiques de pommes	121
Tableau IV. 17. Résultats de quelques analyses physico-chimiques de bananes.....	122
Tableau IV. 18. Résultats de quelques analyses physico-chimiques d'oignons.....	122
Tableau IV. 19. Résultats de quelques analyses physico-chimiques de betteraves.....	123
Tableau IV. 20. Résultats de dénombrement sur milieu PDA	124
Tableau IV. 21. Résultat du dénombrement de la flore aérobic mésophile (FAM) pour les pommes	126
Tableau IV. 22. Résultat du dénombrement de la flore aérobic mésophile (FAM) pour les bananes, fraise, betteraves et oignons	126
Tableau IV. 23. Analyses sensorielles de bananes	128
Tableau IV. 24. Analyses sensorielles de pommes	128
Tableau IV. 25. Analyses sensorielles de fraises	129
Tableau IV. 26. Analyses sensorielles d'oignon	129
Tableau IV. 27. Analyses sensorielles de betteraves	129

Liste des tableaux

Tableau IV. 28 : Effet du prétraitement et séchage sur les paramètres colorimétriques (L^* , a^* , b^* , C^* , h^*) des échantillons de Fraise	130
Tableau IV. 29 : Effet du prétraitement et séchage sur les paramètres colorimétriques (L^* , a^* , b^* , C^* , h^*) des échantillons de Banane	130
Tableau IV. 30: Effet du prétraitement et séchage sur les paramètres colorimétriques (L^* , a^* , b^* , C^* , h^*) des échantillons de pomme.....	130
Tableau IV. 31 : Effet du prétraitement et séchage sur les paramètres colorimétriques (L^* , a^* , b^* , C^* , h^*) des échantillons d'Oignon.....	132
Tableau IV. 32 : Effet du prétraitement et séchage sur les paramètres colorimétriques (L^* , a^* , b^* , C^* , h^*) des échantillons de betterave.....	133

Liste des Figures

Figure I.1. Séchage isenthalpique par entrainement	08
Figure I.2. Allure de séchage en fonction du temps	14
Figure I.3. Représentation typique des séchoirs solaires	17
Figure I.4. Illustration schématique de quelques nouveaux prétraitements pour le séchage des fruits et légumes. (a) Prétraitement au plasma froid des raisins (Huang et al., 2019) ; (b) Prétraitement PEF des carottes pour le séchage sous vide.....	19
Figure I.5. Méthodes de prétraitement des fruits ou légumes avant le séchage thermique.....	25
Figure III. 1. Caractéristiques morphologique de la fraise utilisée dans les expériences.....	54
Figure III. 2. Conditions opératoires de prétraitement appliquées aux fraises lors de la première étape du procédé	56
Figure III. 3. Conditions opératoires de prétraitement appliquées aux fraises lors de la première étape du procédé.....	57
Figure III. 4. Conditions opératoires de prétraitement appliquées aux fraises lors de la troisième étape du procédé.....	59
Figure III. 5. Caractéristiques morphologiques de la Pomme utilisées dans les expériences.....	60
Figure III. 6. Conditions opératoires de prétraitement appliquées aux pommes lors de la première étape du procédé.....	62
Figure III. 7. Conditions opératoires de prétraitement appliquées aux pommes lors de la deuxième étape du procédé	64
Figure III. 8. Caractéristiques morphologique de la Banane utilisée dans notre étude.....	65
Figure III. 9. Illustrations des différentes conditions opératoires de prétraitement appliquées aux bananes lors de la première étape.....	67
Figure III. 10. Illustrations des différentes conditions opératoires de prétraitement appliquées aux bananes lors de la deuxième étape	69

Liste des Figures

Figure III. 11. Caractéristiques morphologique de l'oignon utilisé dans les expériences de prétraitement.....	70
Figure III. 12. Illustrations des différentes conditions opératoires de prétraitement appliquées aux oignons	72
Figure III. 13. Caractéristiques morphologique de Betterave utilisées dans les expériences.....	73
Figure III. 14. Illustrations des différentes conditions opératoires de prétraitement appliquées aux betteraves.....	75
Figure III. 15. Séchoire indirect utilisé dans notre expériences.	75
Figure III. 16 Tranches de fraise, pomme, banane, oignon et betterave placées dans les séchoirs indirects de la plateforme expérimentale de l'URAER.....	76
Figure III. 17. Illustrations des différentes étapes expérimentales de la détermination de la teneur en eau initiale des tranches de pomme.....	77
Figure III. 18. Illustrations des étapes suivis pour déterminer la cinétique de séchage des bananes.....	78
Figure III. 19. Procédure d'hydratation des produits étudiés.....	81
Figure III. 20. Peptone tamponnée (BPW).....	84
Figure III. 21. Matériel destiné à l'ensemencement aseptique sur gélose PDA de la flore fongique isolée à partir d'échantillons de produits séchés.....	85
Figure III. 22. Matériel destiné à l'ensemencement aseptique sur gélose PCA de la flore aérobie mésophile isolée à partir d'échantillons de produits séchés.....	86
Figure IV.1. Effet du différent prétraitement sur la qualité des fraises séchés dans un séchoir indirect (étape 01).	93
Figure IV.2. Effet du différent prétraitement sur la qualité de fraises séchées dans un séchoir indirect (étape 02).....	94
Figure IV.3. Effet du différent prétraitement sur la qualité de fraises séchées dans un séchoir indirect (étape 03).....	96

Liste des Figures

Figure IV.4. Variation de la teneur en eau (base sèche) des fraises en fonction du temps de séchage.....	97
Figure IV.5. Colonnes de réhydratation de fraise.....	98
Figure IV.6. Les courbes de la variation de la faible teneur en eau en fonction du temps de séchage des fraises.....	99
Figure IV.7. Effet du différent prétraitement sur la qualité de pommes séchées dans un séchoir indirect (étape 01).....	101
Figure IV.8. Effet du différent prétraitement sur la qualité de pommes séchées dans un séchoir indirect (étape 02).....	103
Figure IV.9. Variation de la teneur en eau (base sèche) des pommes en fonction du temps de séchage.....	104
Figure IV.10. Colonnes de réhydratation de pommes.....	105
Figure IV.11. Les courbes de la variation de la faible teneur en eau en fonction du temps de séchage des pommes.	106
Figure IV.12. Effet du différent prétraitement sur la qualité de pommes séchées dans un séchoir indirect (étape 01).....	108
Figure IV.13. Effet du différent prétraitement sur la qualité de pommes séchées dans un séchoir indirect (étape 02).....	109
Figure IV. 14. Colonnes de réhydratation de banane.....	111
Figure IV. 15. Les courbes de la variation de la faible teneur en eau en fonction du temps de séchage des bananes.....	112
Figure IV.16. Effet du différent prétraitement sur la qualité d'oignons séchés dans un séchoir indirect.....	114
Figure IV. 17. Variation de la teneur en eau (base sèche) d'oignons en fonction du temps de séchage.....	115
Figure IV. 18. Les courbes de la variation de la faible teneur en eau en fonction du temps de séchage des oignons.....	117

Liste des Figures

Figure IV.19. Effet du différent prétraitement sur la qualité de betteraves séchées dans un séchoir indirect.....	118
Figure IV.20. Variation de la teneur en eau (base sèche) de betteraves en fonction du temps de séchage.....	119
Figure IV.21. Colonnes de réhydratation de betterave.....	120
Figure IV.22. Les courbes de la variation de la faible teneur en eau en fonction du temps de séchage des betteraves.....	121
Figure IV.23. Produits séchés sélectionnés pour l'analyse microbiologique – Solutions mères préparées dans la peptone tamponnée.....	125
Figure IV.24. Résultats de la culture sur milieu PDA d'échantillons de betterave séchée témoin après 2 jours (A) et 3 jours d'incubation (B).....	126
Figure IV.25. Résultats de la culture sur milieu PCA des échantillons de pomme séchée additionnée de CaCl ₂ (A, B) et témoin de pomme séchée sans addition de CaCl ₂	128

Liste des abréviations

AC	Acide Citrique
AS	Acide ascorbique
R	Réhydratation
Aw	Activité d'eau (activity of water)
T	Témoin
Hres	Humidité résiduelle
BPW	Buffered Peptone Water
PDA	Potato Dextrose Agar
UFC	Unité Formant Colonie
FAM	Flore aérobie mésophile
PCA	Plate Count Agar

Table des matières

Liste des Tableaux	
Liste des Figures	
Liste des Abréviations	
Introduction Générale	1
Chpitre I : Etude bibliographique	
Introduction.....	5
I.1. Historique	5
I.2. Définition de séchage.....	6
I.3. Objectif de séchage	7
I.5. Mécanisme du séchage	8
I.6. Les Modes de séchage	9
I.6.1. Séchage par conduction	9
I.6.2. Séchage par convection (ou par entrainement)	9
I.6.3. Séchage par rayonnement infrarouge	10
I.6.4. Séchage sous vide	10
I.6.5. Séchage par lyophilisation	10
I.6.6. Séchage par perte diélectrique	11
I.6.7. Séchage solaire	11
I.7. Diffèrent méthodes de séchages	11
I.8. Caractéristiques de l'air de séchage	12
I.8.1. Humidité absolue	12
I-8-2. Humidité relative	12
I.8.3. Degré de saturation	12
I.8.4. Température caractéristique de l'air humide	13
I.8.4.1. Température du bulbe sec TS	13
I.8.4.2. La température humide Th	13
I.8.4.3. La température de rosée Tr	13
I.8.4.4. Température de saturation adiabatique TGs	13
I.9. La Cinétique de Séchage	14
I.9.1. Différentes phases d'un séchage convectif	14
I.9.1.1. Région a	15
I. 9.1.2. Région b	15
I.9.1.3. Région c	15
I.10. Séchage solaire	15

Table des matières

I.10.1. Classification des systèmes de séchage solaire	16
I.10.2. Les avantages et les inconvénients pour les différents systèmes de séchage solaire.....	17
I.11. Généralités sur des prétraitements	18
I.11.1. Définition des prétraitements	20
I.11.2. Objectif des prétraitements	20
I.11.3. Les différentes méthodes des prétraitements	20
I.11.3.1. Des prétraitements des fruits	21
I.11.3.2. Des prétraitements des légumes	23
I.11.4. Les type des prétraitements	24
II.6. Les avantages des prétraitements	25
Conclusion	25
Chpitre II : Revue Bibliographique	
II. Introduction	28
II.1. Les fruits	28
II.1.1. Banane.....	28
II.1.2. Pomme.....	28
II.1.2. Fraise.....	32
II. 2. Les légumes.....	37
II.2.1. Oignons	40
II.2.2. Betterave	44
Conclusion	47
Chpitre III : Materiels et Méthodes	
Introduction.....	53
III. 1. Prétraitement.....	53
III. 1.1. Prétraitement des frais	53
III. 1.1.1. Généralité sur les frais	53
III. 1.1.2. Conditions opératoires de prétraitement des fraises	53
III. 1.2. Prétraitement de la pomme	56
III. 1.2.1. Généralité sur la pomme	56
III. 1.2.2. Les conditions opératoires du prétraitement de la pomme :.....	57
III. 1.3. Prétraitement de banane	59
III. 1.3. 1. Généralité sur la Banane	59
III. 1.3.2. Conditions opératoires de prétraitement de la banane	59

III. 1.4. Prétraitement d'Oignon.....	62
III.2.4.1. Généralité sur l'oignon	62
III.2.4.2. Les conditions opératoires de prétraitement de l'oignon	62
III.2.5. Prétraitement de betterave.....	63
III.2.5.1. Généralité sur la betterave	63
III.2.5.2. Les conditions opératoires de prétraitement de la Betterave.....	64
III. 2. Séchage	69
III. 3. Calcule la teneur en eau initiale	70
III. 4. La cinétique de séchage	71
III.5. La réhydratation	74
III.6. Contrôle de la qualité sanitaire des produits séchés	75
III.6.1. Analyse physico-chimiques.....	76
III.6.1.1. Mesure du pH	76
III.6.1.2. Teneur en sucres solubles totaux (°Brix)	76
III.6.1.3. Activité de l'eau (aw)	77
III.6.1.4. Teneur en Humidité résiduelle.....	77
III.6.2. Analyses microbiologiques (selon la norme ISO 4833 et le Codex).....	77
III.6.2.1. Dénombrement de la flore fongique (levures et moisissures) sur PDA des produits séchés.....	78
(III.17).....	79
III.6.2.2. Dénombrement de la flore aérobie mésophile (FAM).....	79
III.6.3. Évaluation sensorielle des produits séchés.....	80
Conclusion	82
Chpitre IV : Résultats et Discussions	
Introduction.....	86
IV.1. Effet du prétraitement sur la qualité des fruits séchés	86
IV.1.1. Effet du prétraitement sur les fraises séchées.....	86
IV.1.1.1. Analyse des images de fraises soumises à différents prétraitements	86
IV.1.1.2. La teneur en eau initiale de fraises	90
IV.1.1.3. Cinétique de séchage des fraises.....	90
IV.1.1.4. Réhydratation des fraises	91
IV.1.1.5. Modélisation de la cinétique de séchage des fraises	92
IV.1.2. Effet du prétraitement sur les pommes séchées.....	94
IV.1.2.1. Analyse des images de pommes soumises à différents prétraitements ...	94

Table des matières

IV.1.2.2. La teneur en eau initiale de pommes	96
IV.1.2.3. Cinétique de séchage des pommes	96
IV.1.2.4. Réhydratation des pommes	97
IV.1.3. Effet du prétraitement sur les bananes séchées.....	100
IV.1.3.1. Analyse des images des tranches bananes séchés soumis à différents prétraitements.....	100
IV.1.3.2. La teneur en eau initiale de bananes	103
IV.1.3.3. Cinétique de séchage des bananes.....	104
IV.1.3.4. Réhydratation des bananes.....	104
IV.1.3.5. Modélisation de la cinétique de séchage de bananes	105
IV.1.4. Effet du prétraitement sur les oignons séchés.....	108
IV.1.4.1. Analyse des images des tranches d'oignons séchés soumis à différents prétraitements.....	108
IV.1.4.2. La teneur en eau initiale d'oignons.....	109
IV.1.4.3. Cinétique de séchage des oignons.....	109
IV.1.4.4. Réhydratation d'oignons	110
IV.1.4.5. Modélisation de la cinétique de séchage d'oignons	111
IV.1.5. Effet du prétraitement sur les betteraves séchées	113
IV.1.5.1. Analyse des images des tranches des betteraves séchés soumis à différents prétraitements.....	113
IV.1.5.2. La teneur en eau initiale de betterave	115
IV.1.5.3. Cinétique de séchage de betteraves.....	115
IV.1.5.4. Réhydratation des betteraves	116
IV.1.5.4. Modélisation de la cinétique de séchage de betteraves	116
IV.2. Conformité Sanitaire.....	119
IV.2.1. Analyses physico-chimiques	119
IV.2.2.1. Résultat du dénombrement de la flore fongique (levures et moisissures)	121
IV.2.2.2. Résultat du dénombrement de la flore aérobie mésophile (FAM).....	123
IV.2.3. Analyses sensorielles.....	125
Conclusion	131
Conclusion Générale	Erreur ! Signet non défini.

Introduction Générale

À l'échelle mondiale, l'alimentation humaine est en pleine mutation. La prise de conscience croissante de l'importance d'une nutrition saine et équilibrée s'accompagne d'un intérêt accru pour les fruits et légumes, en raison de leur richesse en fibres, en vitamines, en antioxydants et autres composés bioactifs [1]. Ces denrées jouent un rôle clé dans la prévention des maladies chroniques telles que l'obésité, le diabète, les maladies cardiovasculaires et certains types de cancers [2]. Parallèlement, leur production représente une composante essentielle de l'économie agricole, notamment dans les régions arides et semi arides, où leur culture saisonnière coexiste avec de fortes contraintes de conservation [3].

La nature périssable des fruits et légumes, due à leur forte teneur en eau et à leur activité enzymatique élevée constitue une contrainte majeure à leur valorisation et à leur disponibilité continue. En l'absence de technologies de conservation appropriées, des pertes post-récolte considérables peuvent survenir, dépassant parfois 30 à 50 % de la production selon les pays [4]. Dans ce contexte, le séchage apparaît comme l'une des solutions les plus fiables et économiquement viables pour prolonger la durée de conservation des produits végétaux. Ce procédé repose sur l'abaissement de la teneur en eau libre jusqu'à un niveau qui inhibe les activités microbiennes et enzymatiques responsables de la détérioration [5,6].

Le séchage, en plus d'augmenter la durée de vie des produits, présente de nombreux avantages logistiques : il réduit le poids et le volume des denrées, diminue les coûts d'emballage et de transport, et facilite le stockage. Il permet également de développer de nouveaux produits alimentaires à haute valeur ajoutée (chips, poudres, ingrédients fonctionnels, colorants, etc.) [4]. Toutefois, il s'agit d'un procédé thermiquement agressif, souvent énergivore, qui peut altérer la qualité nutritionnelle, sensorielle et technologique des produits finis. Des pertes de vitamine C, de polyphénols, de couleur naturelle et de texture ont été largement documentées, notamment lors de l'utilisation de séchage à air chaud [7].

L'utilisation de prétraitements avant le séchage prend tout son sens. Ces opérations, appliquées en amont du séchage, visent à optimiser la cinétique de déshydratation, à améliorer l'efficacité énergétique, et surtout à préserver les qualités organoleptiques et nutritionnelles des fruits et légumes transformés. Les prétraitements peuvent être physiques (blanchiment thermique, ultrasons, champs électriques pulsés, etc.) ou chimiques (acides, sels, agents antioxydants, osmose) [8,9]. Ils modifient la structure cellulaire ou la perméabilité membranaire, facilitant ainsi le transfert d'eau durant le séchage tout en limitant l'oxydation ou le brunissement enzymatique [10]. Le choix du type de prétraitement et de ses paramètres

dépend de multiples facteurs : la nature du produit, ses propriétés structurelles, sa sensibilité thermique, mais aussi le mode de séchage appliqué [11].

Le présent mémoire s'intéresse à l'effet de différents prétraitements (chimiques et thermiques) sur la vitesse de séchage et la qualité de fruits (banane, fraise, pomme) et de légumes (betterave, oignon). L'étude expérimentale porte sur les effets de divers agents chimiques (acide citrique, acide ascorbique, NaCl, CaCl₂, saccharose) et de techniques thermiques (blanchiment à l'eau chaude et à la vapeur) sur des paramètres clés tels que la cinétique de séchage, la rétention de composés bioactifs (vitamine C, polyphénols), la couleur, la structure tissulaire et la capacité de réhydratation. Cette recherche vise à mieux comprendre les interactions entre la structure cellulaire des tissus végétaux et les transferts de masse induits par les prétraitements, dans le but de proposer des stratégies optimisées pour la déshydratation des produits végétaux. Elle s'inscrit dans une démarche de valorisation durable des productions locales et de réduction des pertes alimentaires.

Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres principaux :

1. Une étude bibliographique exhaustive des mécanismes de séchage, des facteurs influençant la qualité des produits séchés et de l'impact des prétraitements.
2. Une revue bibliographique des travaux antérieurs sur les prétraitements appliqués aux fruits (banane, pomme et fraise) et légumes (oignon et betterave), mettant en lumière les avancées et les lacunes.
3. Différents matériels et méthodes utilisés dans notre étude.
4. Une discussion des résultats visant à proposer des recommandations en tenant compte des compromis entre qualité, efficacité et coûts.

Enfin, une conclusion générale résume les résultats majeurs et esquisse des perspectives de recherche futures.

Références bibliographiques

- [1]. R.L. Shewfelt. Quality of Fruits and Vegetables. Postharvest Handling: A Systems Approach, (2009) 57-106.
- [2]. D. Tilman, M. Clark. Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 515 (2014) 518-522.
- [3]. FAO. The State of Food and Agriculture 2020. Rome: FAO, (2020).
- [4]. C. Ratti. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering*, 49 (2001) 311-319.
- [5]. A.S. Mujumdar. Handbook of Industrial Drying, 4th Ed. CRC Press, (2014).
- [6]. G.V. Barbosa-Cánovas, A.J. Fontana, S.J. Schmidt, T.P. Labuza. Water Activity in Foods. Wiley, (2020).
- [7]. A.O. Omolola et al. Drying of fruits and vegetables: Retention of nutritional/functional quality. *Food Engineering Reviews*, (2017).
- [8]. I. Doymaz. Evaluation of some thin-layer drying models of persimmon slices (*Diospyros kaki* L.), *Energy Conversion and Management*, 56 (2012) 199-205.
- [9]. M. Zhang et al. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 17 (2006) 524–534.
- [10]. D. Kumar, V.R. Sagar, E. Varghese. Impact of pretreatments and drying methods on dried bitter gourd quality. *Drying Technology*, 33 (2015) 798-808.
- [11]. P. Fellows. Food Processing Technology: Principles and Practice. Woodhead Publishing, (2009).

CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIE

Introduction

Le séchage de divers produits agricoles, tels que les légumes et les fruits, est une méthode ancestrale de conservation des aliments que d'innombrables personnes utilisent encore aujourd'hui. Cette méthode est populaire car elle a un impact important sur la qualité des produits séchés. Ce chapitre abordera l'importance de tout prétraitement avec ses nombreuses méthodes, avec les processus de séchage ainsi que tous les types de séchoirs utilisés. Nous examinerons tous les secteurs qui utilisent des produits séchés et la façon d'optimiser leur utilisation.

I.1. Historique

La déshydratation est l'une des plus anciennes méthodes de préservation des aliments que l'on connaisse. Les peuples primitifs déshydrataient ou faisaient sécher les herbes, les racines, les fruits et la viande en les exposant au soleil. Ils avaient appris que la déshydratation des aliments leur permettait de survivre durant les durs et longs hivers alors que la nourriture était plus rare ou encore inexistante. La légèreté ainsi que la valeur nutritive élevée des aliments déshydratés permettaient aussi aux peuples d'autrefois de parcourir de plus grandes distances lors de leurs voyages de chasses ou d'exploration. [1]

Depuis les débuts de la civilisation, presque tous les peuples de notre planète ont recouru à la déshydratation ou au séchage des aliments. En fait, les plus anciens documents écrits sur le sujet, mentionnent que les Phéniciens ainsi que d'autres peuples pêcheurs de la Méditerranée avaient l'habitude de faire sécher leurs prises au grand air.

Le séchage au soleil des feuilles de thé était très répandu chez les Chinois. Plusieurs autres cultures d'autrefois consommaient divers aliments déshydratés. Par exemple, quand certains anciens tombeaux Égyptiens ont été excavés récemment, les scientifiques ont découvert une variété d'aliments déshydratés, incluant des grains de blé. Ces aliments étaient censés soutenir l'esprit du défunt dans son voyage après la vie. Lors d'une expérience, des grains âgés de plusieurs siècles furent par la suite réhydratés. Miraculeusement, ils germèrent, prouvant que la déshydratation est véritablement un moyen naturel et viable de préservation de la nourriture à long terme. [1]

À l'époque des explorateurs du 15^{ème} et 16^{ème} siècles, la plupart des marins mangeaient une variété d'aliments séchés afin de garder la santé durant leurs voyages en mer. [1]

I.2. Définition de séchage

Par définition, le séchage est une technique de purification visant à débarrasser un mélange homogène ou hétérogène d'un constituant liquide. Sécher un produit consiste à apporter l'énergie nécessaire à la vaporisation de l'eau du produit (chaleur latente de vaporisation), puis à évacuer la vapeur formée. Le but d'une telle opération est, soit de rendre à une substance traitée ses qualités mécaniques ou physico-chimiques initiales, soit de faciliter son stockage et sa conservation. [1]

Il existe plusieurs procédés de séchage : les procédés mécaniques (presse, décantation ou centrifugation), les procédés physico-chimiques (adsorption, absorption, réfrigération et séchage par évaporation). Ce dernier consiste à transférer le liquide à éliminer dans la phase gazeuse qui le baigne.

Le changement de phase exige un apport de chaleur assez considérable. Il peut être direct (chauffage par échangeur, par effet joule, par radiations infrarouges ou par courants de haute fréquence) ou bien c'est la phase gazeuse elle-même qui assure l'apport de chaleur nécessaire (air chaud). Le séchage par évaporation est un processus très complexe qui fait intervenir un double transfert, le premier est un transfert de chaleur destiné à réduire la teneur en eau dans le produit et le second est un transfert de masse qui implique un déplacement du fluide de l'intérieur du produit vers sa surface. Ces deux transferts exigent un apport de chaleur considérable, d'où l'intérêt d'utiliser une source de chaleur renouvelable. C'est le cas des séchoirs solaires. [1]

L'utilisation du séchage dans les industries agro-alimentaires a de multiples buts :

- Accroître la durée de conservation des produits (viandes, poissons, fruits, graines, pâtes, épices, thé, champignons, ...).
- Stabiliser les produits agricoles (maïs, luzerne, riz, lait, ...) et amortir le caractère saisonnier de certaines activités.
- Transformer les produits par des réactions biochimiques ou biologiques (produits de salaison, touraillage de malt, ...).
- Stabiliser des co-produits industriels pour l'alimentation animale (pulpes de sucrerie ou d'amidonnerie, drêches de brasserie, farines de viande et de poisson, lactosérum, ...)
- Produire des ingrédients ou des additifs pour une seconde transformation, également appelés produits alimentaires intermédiaires (PAI). Ce sont par exemple des légumes pour les potages, des oignons pour la charcuterie, des fruits pour la pâtisserie, des épaississants, arômes, colorants [1].

I.3. Objectif de séchage

Le séchage consiste à éliminer l'eau d'un aliment par évaporation dans l'air environnant ; la faible teneur en eau du produit sec empêche les attaques des micro-organismes qui ne peuvent se développer et se multiplier dans les aliments peu humides.

L'action des enzymes contenues naturellement dans les aliments. Les enzymes sont inactivées dès que la teneur en eau descend en dessous d'un certain seuil. Chaque aliment est caractérisé par une teneur en humidité qui garantit sa bonne conservation. Il est donc essentiel que le séchage permette d'atteindre ce taux d'humidité spécifique [2].

I.4. Le principe de séchage

La première idée qui vient à l'esprit pour sécher un produit est de la porter à la température d'ébullition de l'eau, qui alors se vaporise. En réalité, ce principe n'est pas le plus employé et l'on préfère souvent opérer à température moins élevée en utilisant l'air comme gaz d'entraînement.

I.4.1. Séchage par « Ebullition »

L'ébullition d'un liquide se produit lorsque sa température est telle que la pression de vapeur p de l'eau de ce liquide est égale à la pression totale ambiante P_t :

$$P = P_t$$

- Pour l'eau pure, à pression atmosphérique, la température nécessaire est 100 °C.
- Pour des solutions aqueuses, la pression de vapeur d'eau est abaissée par la présence des corps dissous : la température nécessaire est donc supérieure à 100 °C.
- Pour des « solides » humides enfin, les phénomènes sont analogues : selon l'état de l'eau dans le produit, celle-ci bout à 100°C ou plus haut.

Dans tous les cas, la température d'ébullition dépend aussi de la pression, et en particulier est plus basse sous vide.

Cette opération, utilisée en industries alimentaires et pharmaceutiques, s'effectue généralement sous vide, sur le produit préalablement congelé.

I.4.2. Séchage par « Entraînement »

Lorsqu'un corps humide est placé dans un courant d'air (ou dans un autre gaz) suffisamment chaud et sec, il s'établit spontanément entre ce corps et l'air un écart de température et de pression partielle d'eau tels :

- Qu'un transfert de chaleur s'effectue de l'air vers le produit sous l'effet de l'écart de température.

- Un transfert d'eau s'effectue en sens inverse du fait de l'écart de concentration en eau dans l'air.

Un exemple, typique du début de séchage d'un produit très hydraté, est donné en (figure).

Les concentrations de l'air en eau sont exprimées en pressions partielles d'eau ($\text{Pa} = \text{Pascal}$).

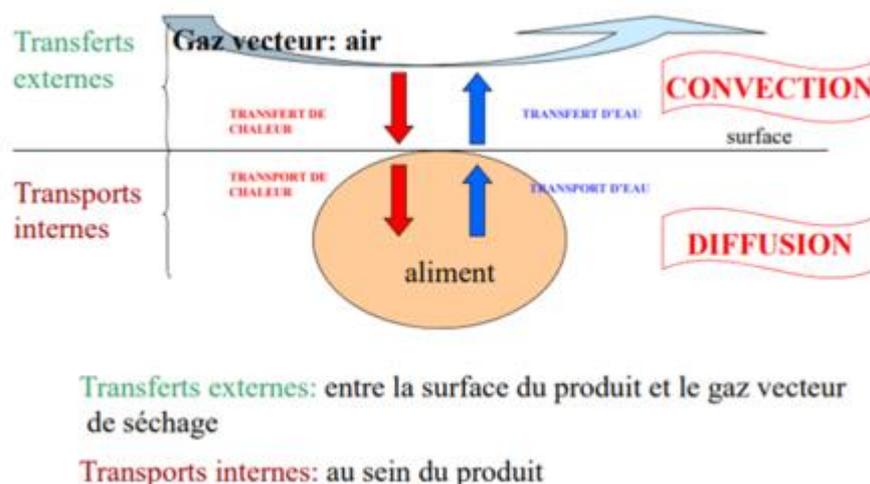


Figure I.1. Séchage isenthalpique par entraînement. [3]

Le séchage est dit « **isenthalpique** » si l'énergie nécessaire à la vaporisation de l'eau est exactement égale à celle apportée par l'air chaud.

L'air sert donc à la fois de fluide chauffant et de gaz vecteur pour l'eau enlevée. Entrant sec et chaud dans le séchoir, il en ressort humide et moins chaud.

On remarque que la température de surface du produit (29 °C dans l'exemple précédent) est loin des 100 °C que demanderait l'ébullition à la pression atmosphérique [4].

I.5. Mécanisme du séchage

Un bon séchage est conditionné par la maîtrise de trois paramètres fondamentaux :

- ✓ L'énergie thermique apportée qui provoque la migration de l'eau vers la surface du produit et sa transformation en vapeur d'eau ;
- ✓ La capacité de l'air environnant à absorber la vapeur d'eau dégagée par le produit. Dépend du pourcentage de vapeur d'eau déjà contenue dans l'air, avant son arrivée dans le séchoir et de la température à laquelle il a été porté ;

- ✓ La vitesse de cet air au niveau du produit qui, surtout en début de séchage, doit être élevée (jusqu'à une certaine limite) de manière à accélérer l'entraînement de la vapeur d'eau [5].

I.6. Les Modes de séchage

Le critère de classification le plus utilisé repose sur le mode de transfert de chaleur entre le produit et la source de chaleur, ou bien selon le mode de chauffage de la matière à sécher par les types de séchage suivants :

I.6.1. Séchage par conduction

Le produit à sécher est mis en contact direct avec une paroi solide chaude où la chaleur est apportée au produit par conduction à travers cette paroi, puis par conduction dans le produit. Ce mode de séchage est très utilisé dans l'industrie du textile et de la papeterie. [6] Ce mode de transfert est donné par la relation :

$$\frac{Q}{A} = \lambda \frac{dT}{dt} \quad (I.1)$$

Avec :

λ : Conductivité thermique de la pellicule de produit (W/m. K).

$\frac{dT}{dt}$: Gradient de température entre la paroi chaude et le produit.

I.6.2. Séchage par convection (ou par entraînement)

Elle consiste à transférer la chaleur au produit à l'air d'un courant d'air chaud. Ce mode de séchage représente plus de 85% des séchoirs industriels et il est très utilisé dans le domaine agro-alimentaire. [6]

Ce type de transfert obéit à l'équation suivante :

$$Q = h A (T_a - T_s) \quad (I.2)$$

Avec :

- Q (W) : la quantité de chaleur transférée par unité de temps.
- A (m^2) : surface d'échange.
- $(T_a - T_s)$ ($^{\circ}K$) : l'écart entre la température d'air de séchage et la température superficielle du produit à sécher.
- h ($W / m^2 \cdot K$) : coefficient d'échange par convection.

I.6.3. Séchage par rayonnement infrarouge

Un rayonnement infrarouge IR est appliqué sur le produit. Il permet un chauffage rapide des produits en couches minces (500µm). La génération du rayonnement se fait soit par des dispositifs électroniques (micro-ondes qui est spécifique au transfert de chaleur, se fait par propagation d'une onde électromagnétique et par le générateur de micro-onde) soit par élévation de la température d'un émetteur IR. Ce procédé de séchage est très efficace pour l'élimination de l'eau, surtout lorsque le produit à sécher n'est pas thermosensible. Ce mode est très appliqué dans l'industrie des peintures. [6]

Ce mode de transfert est donné par :

$$Q = A1. C \left(\left(\frac{T1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T2}{100} \right)^4 \right) . \varphi \quad (I.3)$$

$$C = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)} \quad (I.4)$$

Avec :

T_1 : Température de la source émettrice (K).

T_2 : Température du produit (K).

A_1 : Surface de l'émetteur infrarouge (m²).

A_2 : Surface du corps recevant le rayonnement (m²).

φ : Facteur de forme.

ε_1 : Emissivité de l'émetteur.

ε_2 : Emissivité du produit.

I.6.4. Séchage sous vide

Le point d'ébullition d'un liquide s'abaissant lorsqu'on diminue la pression, le séchage réalisé sous vide provoque l'ébullition rapide du liquide à éliminer. L'opération qui s'effectue alors par vaporisation s'en trouve accélérée et la durée du séjour de la matière dans le séchoir écourtée. Ce mode opératoire rend ainsi possible le séchage de substances thermosensibles, difficile à traiter sous pression normale, en raison du séjour plus ou moins long qu'elles devraient subir à température élevée. [6]

I.6.5. Séchage par lyophilisation

La lyophilisation est un séchage s'effectuant sous une pression très réduite, elle combine l'action du froid et du vide pour réaliser la sublimation. Cette méthode de séchage étant évidemment très onéreuse ne peut s'appliquer qu'à des matières bien déterminé en raison de

leur fragilité à la chaleur et donc ne supportent pas les méthodes habituelles de séchage, par exemple :

Les substances biologiques (plasma sanguin, cellules...), produits pharmaceutiques (antibiotiques) et produits alimentaires (café, lait, jus de fruit...). [6]

Les cristaux de glace sont ensuite enlevés de la chambre de séchage par des pompes à vide mécaniques ou des éjecteurs à jet de vapeur.

I.6.6. Séchage par perte diélectrique

Le séchage par pertes diélectriques est basé sur le chauffage par l'électricité des substances non conductrices (diélectrique). On l'obtient en plaçant la matière à sécher dans un champ électrique alternatif à très haute fréquence (1 à 30MHz). Un tel champ existe entre les armatures d'un condensateur plan relié à un générateur. Sous l'action de ce champ, les molécules du diélectrique se polarisent et sont contraintes de changer de polarité à chaque alternance. Ce changement de polarité provoque des vibrations mécaniques des dipôles moléculaires qui causent des frictions inter atomiques et intermoléculaires engendrant de la chaleur qui sert à l'échauffement régulier de la matière. [6]

I.6.7. Séchage solaire

Il s'agit simplement de chauffer le produit par le rayonnement solaire direct (séchage direct) ou par l'intermédiaire d'un capteur solaire qui sert à capter et/ou concentrer le rayonnement solaire afin d'augmenter la température de l'air (séchage indirect). Ce mode de séchage est plus utilisé dans le domaine agro-alimentaire.

Les différents modes de séchage cités ci-dessus, à l'exception du séchage solaire, sont de grands consommateurs d'énergie (10-15 % de la consommation d'énergie industrielle mondiale). De plus, ces processus sont difficiles à réaliser notamment dans les zones rurales où l'alimentation en sources d'énergie (l'électricité, gaz...) est souvent difficile. Donc l'utilisation de l'énergie solaire gratuite est utile et permet de réduire le coût du processus notamment dans les pays en développement [6].

I.7. Différent méthodes de séchages

- ✓ **Séchage mécanique** : C'est l'élimination du liquide par des forces purement mécaniques (pressage, centrifugation, compression et filtration).
- ✓ **Séchage chimique** : C'est un procédé basé sur l'utilisation des produits déshydratants par équilibre osmotique pour extraire l'eau (chlorure de calcium, ...).

✓ **Séchage thermique** : Ce type d'opération est essentiellement un transfert de masse nécessitant au préalable une « activation » de l'eau par une certaine quantité d'énergie apportée par un transfert de chaleur. Les deux transferts se dédoublent en une phase externe et une phase interne :

- Transfert de chaleur externe, de la source de chaleur vers la surface du produit.
- Transfert de chaleur interne, de la surface vers le cœur du produit.
- Transfert de masse interne, du cœur vers la surface du produit.
- Transfert de masse externe, de la surface du produit vers le milieu extérieur [6].

I.8. Caractéristiques de l'air de séchage

I.8.1. Humidité absolue

On appelle humidité absolue ou spécifique, ou teneur en humidité, ou plus simplement humidité d'un gaz, la masse d'humidité mélangée à un kilogramme de gaz sec, cette humidité que nous désignerons par H_a est donnée par la relation suivante :

$$H = \frac{M_a}{M_e} \quad (I.5)$$

M : Masse de l'eau

M : Masse de l'air sèche

Si on considère P la pression totale du mélange de gaz et de vapeur, on peut écrire dans le cas de l'air humide :

$$H = 0.622 \left[\frac{P}{P - P_v} \right]$$

I-8-2. Humidité relative

La vapeur d'eau se présente dans l'air sous forme de vapeur si $P_v \leq P(T)$, on définit alors l'humidité relative ou degré hygrométrique H_r de l'air par la relation : [7]

$$H_r = \frac{P_v}{P_s(T)} \cdot 100 \quad (I.6)$$

P_v : La pression partielle de la vapeur dans le mélange.

$P_s(T)$: La pression de saturation dans le même mélange, pris à la même température.

I.8.3. Degré de saturation

Le degré de saturation est le rapport de l'humidité spécifique de l'air à l'humidité spécifique de l'air saturé à la même température. [7]

$$\psi = \frac{H_a}{H_{a_s}} \quad (I.7)$$

Dans le cas où P_v et P sont tous deux petits devant P (cas de l'air humide sous la pression atmosphérique et pour des températures peu élevées), on peut écrire :

$$\psi = \frac{H_a}{H_{as}} = \frac{P}{P_s}. \quad (\text{I.8})$$

I.8.4. Température caractéristique de l'air humide

La chaleur à transférer au milieu à sécher est apportée par un gaz vecteur chaud qui assure aussi le transport des vapeurs hors de l'enceinte de séchage. On distingue classiquement quatre températures remarquables. [7]

I.8.4.1. Température du bulbe sec TS

La température du bulbe sec TS ou plus exactement température « sèche », est celle qui est indiquée par un thermomètre dont l'élément sensible, le bulbe, est parfaitement sec.

I.8.4.2. La température humide Th

C'est la température d'équilibre d'une masse d'eau s'évaporant dans l'air dans le cas où la chaleur nécessaire à l'évaporation n'est prélevée que sur l'air.

La différence $(T - Th)$ est représentative de l'humidité relative H_r de l'air car :

Elle est nulle si l'air est saturé en vapeur d'eau soit, si $H_r = 100\%$, pas d'évaporation possible.

Elle augmente avec la différence $(P_s(T) - P_v)$ qui est le terme moteur du transfert de masse donc elle diminue quand H_r augmente.

I.8.4.3. La température de rosée Tr

Il s'agit de la température pour laquelle l'air devient saturé pour la pression de vapeur d'eau P_v considérée. Or P_v intervient dans l'expression de l'humidité spécifique, si bien que la température de rosée représente encore la température de saturation à humidité spécifique constante.

I.8.4.4. Température de saturation adiabatique TGs

La température de saturation adiabatique correspond à la température atteinte par le gaz vecteur sortant, saturé en vapeur du liquide, d'une enceinte adiabatique contenant le liquide à la température T_s [7].

I.9. La Cinétique de Séchage

Les mécanismes de séchage sont complexes parce que plusieurs facteurs influent simultanément sur l'opération. Parmi ces facteurs on peut citer le mode de séchage et les caractères du produit (nature, forme et propriétés physiques). [8]

La vitesse de séchage est fonction de très nombreux paramètres dont les plus importants sont :

- La nature, la porosité, la forme et l'humidité du produit.
- La température, l'humidité et la vitesse du gaz sécheur. [8]

I.9.1. Différentes phases d'un séchage convectif

On étudie la cinétique de séchage des différents produits par des courbes représentant l'évolution de la vitesse de séchage en fonction du temps. Ces courbes sont généralement obtenues pour différentes conditions expérimentales. Elles caractérisent le comportement global du produit à sécher au cours du temps. Tous les travaux de séchage montrent que ces courbes se distinguent suivant la nature du produit. Mais d'une manière générale, on constate l'existence de trois différentes périodes qui se caractérisent par un comportement différent de la vitesse de séchage. Si dans une opération de séchage on procède à la mesure de la masse du produit à intervalles réguliers, on obtiendra ce qu'on appelle courbe de la vitesse de séchage. [8]

Sur cette courbe (Figure II) on distingue trois régions explicitées comme suit :

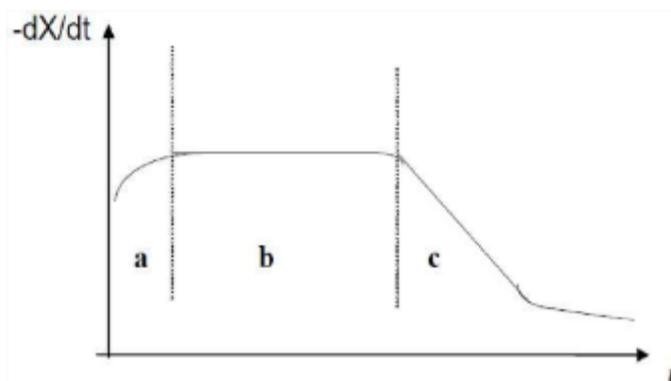


Figure I.2. Allure de séchage en fonction du temps [8].

Région a : Période de mise en température

Région b : Période à allure constante

Région c : Période de ralentissement

I.9.1.1. Région a

C'est la période de mise en température. Quand un produit d'une température de surface T_s et d'une pression partielle de vapeur d'eau P_s est brassé par un courant d'air chaud, des échanges de chaleur et de matière ont lieu entre le produit et l'air asséchant. Pour être emportées sous forme de vapeur, les quantités d'eau contenues dans le produit exigent un apport correspondant de l'énergie de vaporisation. L'excès de chaleur fournie par l'air amène le produit à s'échauffer davantage ce qui aboutit à un équilibre du bilan de chaleur. Si par contre, la température de surface du produit est trop élevée, le déficit énergétique entraînerait un refroidissement du produit. La période de mise en température est courte et n'apparaît véritablement que si les produits sont de grande taille, ou si la différence de température entre l'air et le produit est important [8].

I. 9.1.2. Région b

C'est la période à vitesse de séchage d'allure constante, elle n'existe que si l'eau libre s'évapore en surface. L'activité de l'eau à la surface du produit (a_w) est alors égale à 1. Pour cette période, on peut définir la température du thermomètre humide T_h c'est la température à laquelle le flux de chaleur entrant est égal au flux nécessaire à l'évaporation de l'eau sortant du produit [8].

I.9.1.3. Région c

C'est la période à vitesse de séchage décroissante. Le ralentissement de l'allure de séchage est expliqué par ;

Disparition de l'eau libre en surface de produit : ce phénomène correspond au début du ralentissement de l'allure de séchage. En admettant que la migration de l'eau libre et de l'eau liée contenues dans le produit s'effectue consécutivement sous forme liquide et vapeur, il faut envisager l'existence d'un front de vaporisation qui s'enfonce progressivement à l'intérieur du produit [8].

I.10. Séchage solaire

La terre reçoit chaque année environ dix milliardièmes de l'énergie rayonnée par le soleil, soit une puissance de $1,6 \times 10^{18}$ kw, ceci représente annuellement cinq à dix fois l'ensemble des réserves fossiles connues (uranium compris). Cette énergie est essentiellement caractérisée par sa gratuité et le caractère inépuisable, à notre échelle de temps, de sa source qui est le

soleil. Mais le caractère intermittent du soleil rend cette énergie indisponible à certaines heures. Notons que la flambée du prix du pétrole ces dernières années justifie pleinement la nécessité de l'utilisation de l'énergie solaire. Elle peut être utilisée pour produire de l'électricité ou pour produire de la chaleur. Quand elle sert à produire de l'électricité, on parle de solaire électrique et quand elle est convertie en chaleur,

On parle de solaire thermique. L'une des applications du solaire thermique est le séchage solaire. Le séchage solaire est la plus ancienne méthode utilisée par les hommes pour conserver les aliments. Dans les pays en développement où les pertes des produits agro-alimentaires sont importantes et où la disponibilité des énergies conventionnelles est faible, le séchage solaire constitue une solution adéquate et adaptée pour résoudre le problème de conservation et de transformation des produits. [9]

Le séchage solaire traditionnel (à l'air libre) est largement utilisé par les producteurs dans les Pays en Développement mais il présente quelques limites : temps de séchage long, grande surface de séchage, dépôt de poussières et particules sur les produits, exposition aux insectes et autres animaux, perturbations climatiques (pluie, vents etc...). Le séchage solaire traditionnel doit donc être amélioré pour réduire la durée du séchage et assurer la bonne qualité des produits. Ceci passe par la conception de séchoirs solaires adaptés au contexte local en prenant en compte l'environnement météorologique de ces Pays, en particulier le rayonnement solaire [9].

I.10.1. Classification des systèmes de séchage solaire

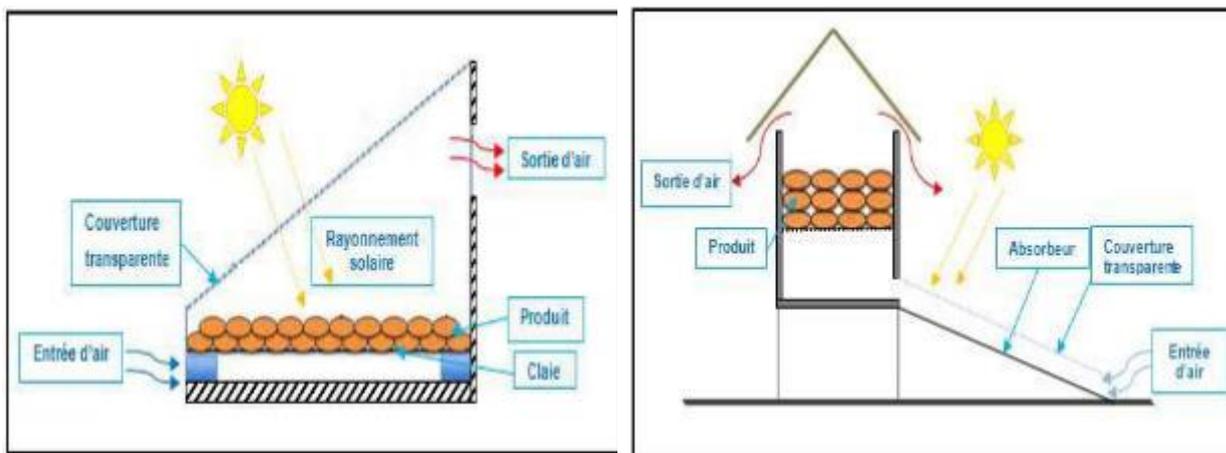
D'une manière générale les systèmes de séchage solaire sont classés d'après leurs modes de chauffage et la manière dans laquelle l'énergie solaire est utilisée. D'une manière générale, ils peuvent être classés dans deux groupes majeurs, à savoir :

- Les systèmes de séchage d'énergie solaire actifs (souvent appelés les séchoirs solaires hybrides).
- Les systèmes de séchage d'énergie solaire passifs (conventionnellement appelés les séchoirs solaires à circulation naturelle de l'air de séchage) [7].

Trois sous classes distinctes peuvent être identifiées pour ces deux systèmes de séchage actifs et passifs (selon le type du séchoir et le mode d'utilisation de l'énergie solaire), à savoir :

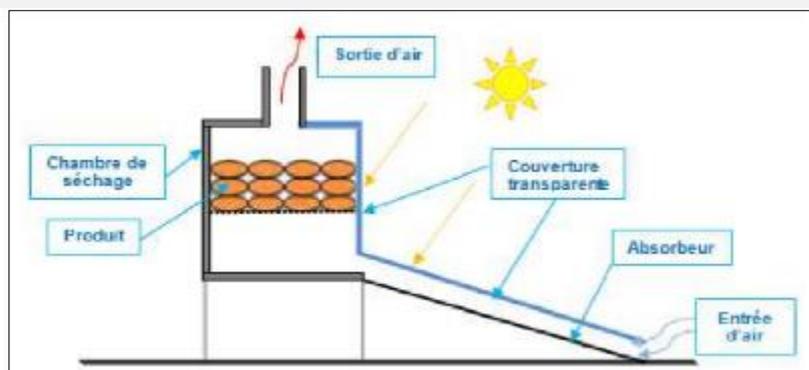
- Les séchoirs solaires de type direct,
- Les séchoirs solaires de type indirect,
- Les séchoirs solaires de mode mixte.

Les principaux types de séchoirs à énergie solaire sont illustrés dans la (Figure I.3).



Le principe d'un séchoir solaire direct.

Le principe d'un séchoir solaire indirect.



Le principe d'un séchoir solaire mixte.

Figure I.3. Représentation typique des séchoirs solaires [10].

I.10.2. Les avantages et les inconvénients pour les différents systèmes de séchage solaire

Tableau I.1. Avantages et inconvénients pour les différents types de séchoirs solaires [7].

Type de séchoir solaire	Les avantages	Les inconvénients
Séchoir direct	<ul style="list-style-type: none"> - Meilleure protection contre les poussières, les insectes, les animaux et la pluie par rapport au séchage traditionnel. - Pas besoin de main-d'œuvre qualifié. 	<ul style="list-style-type: none"> - Température élevée en fin de séchage. - Oxydation des vitamines A et C par les rayons UV du soleil. - Jaunissement des légumes verts. - Faible circulation de l'air qui limite la vitesse du séchage et augmente les risques de moisissure.

Séchoir indirect	<ul style="list-style-type: none"> - Le produit n'est pas exposé directement au soleil. - Le produit conserve mieux sa couleur et sa valeur nutritionnelle (notamment les vitamines A et C) - Température limitée (55 °C) 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût important. - Rapidité du séchage très variable suivant les conditions climatiques et la conception du séchoir.
------------------	--	--

I.11. Généralités sur des prétraitements

Les fruits et légumes contiennent des nutriments essentiels, des fibres alimentaires, des vitamines et un ensemble de micronutriments nécessaires à une vie saine. Cependant, les fruits et légumes frais sont disponibles de saison et hautement périssables. Par conséquent, le séchage est couramment utilisé pour éliminer l'eau et réduire l'activité de l'eau, ce qui entraîne une inhibition ultérieure de la détérioration. Cependant, la présence de couches protectrices dans les fruits et légumes empêche l'élimination de l'humidité pendant le séchage, ce qui entraîne une prolongation du temps de séchage et une détérioration de la qualité globale du produit. Des techniques de prétraitement avant le séchage ont donc été étudiées pour résoudre cet inconvénient en augmentant la perméabilité et en accélérant la vitesse de séchage, ce qui conduit à une inactivation efficace des enzymes et à un obstacle à l'oxydation. [11]

Les prétraitements conventionnels comprennent généralement le blanchiment à l'eau chaude (HWB), le blanchiment à la vapeur, la solution hyperosmotique, les solutions alcalines, la sulfatation et la liqueur acide. Bien que ces prétraitements aient des effets positifs sur le processus de séchage en réduisant le temps de séchage et en améliorant la qualité, ils peuvent également présenter des problèmes possibles tels que l'absorption chimique, la dégradation de la qualité, une mauvaise réhydratation, un effondrement structurel, des pertes de nutriments et une consommation d'énergie élevée, en particulier lors d'un séchage prolongé. Par conséquent, de nouvelles techniques de prétraitement non thermiques et thermiques ont été développées pour améliorer encore la qualité des produits. [11]

De nombreuses études ont montré que les techniques de transformation alimentaire non thermiques peuvent avoir des effets négatifs minimes sur la qualité des aliments (Sun, 2014). Ces techniques ont également été étudiées comme méthodes de prétraitement pour le séchage des fruits et légumes par la modification des tissus et des cellules pour faciliter la perméabilité, l'élimination de l'humidité et la libération des constituants cellulaires. Français Ces techniques comprennent le plasma froid (CP), le champ électrique pulsé (PEF), l'enrobage par film comestible (EFC) et l'ultrasonication (US). D'autre part, des techniques

thermiques alternatives telles que le blanchiment à l'air chaud à haute humidité (HHAIB), le blanchiment infrarouge (IRB) et le blanchiment par micro-ondes (MWB) ont également été explorées pour l'inactivation des enzymes et l'amélioration de la qualité de l'ail et des pommes de. Un diagramme schématique de certains nouveaux prétraitements de séchage appliqués au séchage des fruits et légumes est présenté dans la figure I.4. [11]

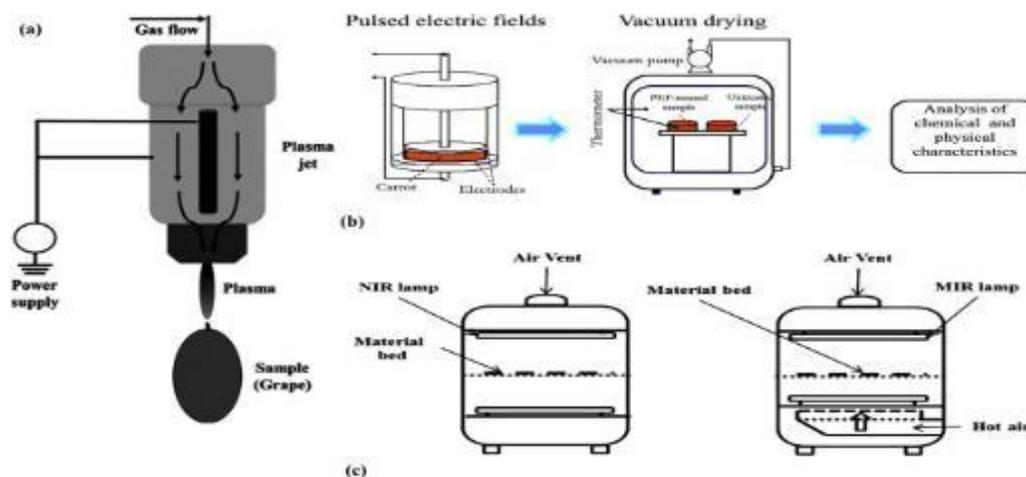


Figure I.4. Illustration schématique de quelques nouveaux prétraitements pour le séchage des fruits et légumes. (a) Prétraitement au plasma froid des raisins (Huang et al., 2019) ; (b)

Prétraitement PEF des carottes pour le séchage sous vide [11].

Malgré les avantages considérables des nouvelles techniques de prétraitement non thermique et thermique pour améliorer la qualité des produits et améliorer les performances de séchage, les revues disponibles sont limitées. Ont résumé l'application du prétraitement conventionnel utilisant une solution alcaline hypertonique, du sulfite, de l'ozone et du CO₂, la congélation, le blanchiment, la vapeur et la vapeur surchauffée sur l'inactivation des enzymes et l'amélioration du séchage, soulignant les inconvénients et la nécessité d'études sur de nouvelles techniques comme alternatives pour des prétraitements efficaces. Récemment, ont examiné l'application de certains prétraitements non thermiques, notamment la déshydratation osmotique, les ultrasons et la haute pression sur l'inactivation des enzymes pour réduire les effets néfastes des processus de séchage par convection sur la qualité des aliments séchés. Outre les revues ci-dessus, il manque des informations complètes sur les nouveaux prétraitements pour améliorer les performances de séchage et améliorer les attributs de qualité des produits séchés. Par conséquent, la présente revue vise à fournir un aperçu complet, qualitatif et quantitatif des nouveaux prétraitements pour accélérer la vitesse de séchage, augmenter la diffusion de l'humidité, réduire la consommation d'énergie et faire progresser les attributs de qualité fonctionnelle et nutritionnelle du produit final par rapport aux processus de séchage conventionnels. L'application et les limites de ces nouvelles techniques de

prétraitement et les perspectives de leurs développements futurs sont également présentées [11].

I.11.1. Définition des prétraitements

Le prétraitement améliore généralement la qualité et rend la nourriture plus sûre à manger. Les recherches montrent que le traitement des fruits et légumes avant séchage avec une solution acide ou avec une solution de métabisulfite de sodium aide à détruire les bactéries nocives qui peuvent être présentes sur le produit pendant le processus de séchage.

Les prétraitements empêchent les fruits de s'assombrir. De nombreux fruits de couleur claire, comme les pommes, s'assombrissent rapidement lorsqu'ils sont coupés et exposés à l'air. Si elles ne sont pas prétraitées, ces fruits continueront à noircir après séchage.

Pour le stockage à long terme des fruits séchés, la sulfuration ou l'utilisation d'un bain de sulfite sont les meilleurs prétraitements. Cependant, les sulfites trouvés dans l'aliment après l'un ou l'autre de ces traitements ont provoqué des réactions asthmatiques dans une petite partie de la population asthmatique. Ainsi, certaines personnes peuvent vouloir utiliser les prétraitements alternatifs à court terme. Si les aliments séchés à la maison sont consommés en peu de temps, il peut y avoir peu de différence dans les prétraitements à court et à long terme [2].

I.11.2. Objectif des prétraitements

Le prétraitement des produits à sécher présente un grand intérêt même pour les activités de séchage traditionnelles de taille modeste. Il permet de modifier la structure du produit afin de faciliter le séchage, d'éviter la contamination microbienne avant séchage et durant sa première phase et de limiter les réactions biochimiques externes.

Le type de prétraitement à utiliser dépendra du produit final que vous souhaitez obtenir : si, par exemple, nous voulons obtenir un produit biologique, nous n'utiliserons pas de conservateurs et nous nous en tiendrons à l'utilisation de produits naturels tels que le vinaigre, le jus de citron, le salage, le sucre. Ces produits sont généralement moins efficaces que les produits chimiques tels que le métabisulfite ou le soufre mais sont moins toxiques.

Il est à noter que dans les deux entretiens consacrés à ce sujet, les prétraitements pour sécher les fruits et légumes et les prétraitements pour le séchage de la viande incluent les processus de préparation tels que lavage, triage, découpe, épluchage ou désossage et dégraissage (appelé parage) pour la viande [2].

I.11.3. Les différentes méthodes des prétraitements

I.11.3.1. Des prétraitements des fruits

Le processus de dégradation causé par des enzymes pendant le stockage est un problème moins aigu dans les fruits que dans les légumes, car les fruits contiennent des niveaux plus élevés de sucres et d'acides qui neutralisent l'action des enzymes. La plupart des fruits tels que les fraises, les cerises, les raisins sans pépins, le melon et les prunes n'ont pas besoin de prétraitement avant le séchage. Cependant, la couleur de la plupart des fruits de couleur claire, en particulier les pommes, les abricots, les pêches, les nectarines et les poires, tend à devenir plus foncée pendant le séchage et le stockage, à travers un processus d'oxydation qui prive les fruits de leur saveur, de leur couleur et de leur teneur en vitamines (C) (A). [12]

Pour éviter ce processus, il convient de traiter les fruits avant le séchage par l'une des méthodes suivantes :

A. Trempage dans l'acide ascorbique/acide citrique

Le trempage dans ces deux acides est souvent utilisé comme prétraitement pour les fruits. Ces acides empêchent le changement de couleur des fruits tels que les pommes, les poires, les pêches et les abricots lorsqu'ils sont coupés et exposés à l'air, en évitant qu'ils ne deviennent bruns. De plus, le trempage dans l'acide ascorbique augmente la teneur en vitamine C des fruits secs. [12]

On prépare une solution d'acide ascorbique (vitamine C) en ajoutant une cuillère à café de cristaux d'acide ascorbique ou 3 comprimés de 500 mg de vitamine C dans un litre d'eau, en remuant continuellement jusqu'à dissolution. Ensuite, les morceaux de fruits coupés sont placés dans l'acide ascorbique et mélangés pour assurer une couverture homogène avec la solution. Les fruits sont laissés dans la solution pendant 5 minutes pour les tranches et 15 minutes pour les fruits coupés en deux. Les fruits sont ensuite retirés de la solution et rincés doucement à l'eau froide, puis transférés sur des plateaux de séchage. Cette quantité d'acide ascorbique suffit pour traiter 8 tasses de fruits. La solution d'acide est utilisée une seule fois.

B. Trempage dans une solution saline : La solution saline est préparée en ajoutant 2 à 4 cuillères à soupe de sel à 4 litres d'eau. Les fruits sont immergés dans la solution pendant 5 à 25 minutes, puis bien séchés.

C. Blanchiment au sirop : Les fruits destinés au séchage sont préparés. La solution de blanchiment est préparée en mélangeant du sucre et de l'eau dans un rapport de 1:2. Il est possible d'utiliser une quantité de sucre réduite selon les préférences. La solution est portée à

ébullition, puis les fruits sont ajoutés et laissés mijoter pendant 5 minutes. Les fruits sont ensuite égouttés et étalés sur des plateaux de séchage pour sécher.

D. Trempage au miel : Le traitement au miel peut réduire efficacement les réactions de brunissement, les changements de couleur et d'adoucissement inapproprié des fruits de couleur claire. La solution de miel est préparée en mélangeant du miel et de l'eau dans un rapport de 1:4. Les fruits sont trempés dans la solution immédiatement après la coupe et sont laissés pendant 5 minutes, puis bien égouttés. Dans ce cas, les fruits séchés conservent le goût du miel.

E. Exposition des fruits à la vapeur d'eau : Cette méthode aide les fruits à conserver leur couleur et à ralentir le processus d'oxydation. Cependant, cela modifie le goût et la texture des fruits. Le processus d'exposition des fruits à la vapeur se déroule comme suit : remplir une casserole d'eau jusqu'à une hauteur de 7 à 10 cm. L'eau est portée à ébullition dans la casserole. Les fruits sont placés dans une poêle à trous ou un panier en fil métallique à une hauteur ne dépassant pas 5 cm, et sont placés au-dessus de l'eau bouillante à quelques centimètres de distance. [12]

F. Traitement au soufre (sulfuration) : ou avec des solutions de sulfite, et le processus de sulfuration se fait à l'extérieur des bâtiments. En exposant les fruits destinés au séchage à des vapeurs de soufre brûlant. Le traitement avec des solutions de sulfite se fait à l'intérieur des bâtiments en immergeant les fruits coupés dans ces solutions. Parmi les autres traitements réalisés à l'intérieur des bâtiments, on trouve l'immersion dans de l'acide ascorbique ou dans une solution de blanchiment, mais l'efficacité de ces deux solutions est inférieure à celle du traitement au soufre ou des solutions de sulfite. Cependant, elles peuvent être utilisées par des personnes allergiques au soufre. [12]

Les méthodes de traitement au soufre ou avec des solutions de sulfite sont considérées comme les plus efficaces parmi les traitements initiaux pour inhiber les processus d'oxydation et le brunissement des fruits. De plus, ces méthodes peuvent améliorer la durée de conservation et le goût des fruits. En général, tous les fruits commerciaux séchés clairs, tels que les abricots, les pommes et les poires, sont traités avec des composés de soufre.

En règle générale, le processus de sulfuration (sulfuration) est une méthode potentiellement dangereuse et son utilisation n'est pas recommandée actuellement.

La méthode d'utilisation des solutions de sulfite consiste à préparer une solution aquatique à partir de l'un des composés de sulfite, puis à immerger les fruits coupés dans la solution. Parmi ces composés, le plus courant est le sulfite de sodium (1-2 cuillères à café / litre d'eau) ; ou le bisulfite de sodium (1/2 - 1 cuillère à café / litre) ; ou le peroxy-sulfite de sodium (1 - cuillère à café / litre).

La méthode de traitement avec des solutions de sulfite se compose de deux étapes :

- ✓ Préparer une solution de sulfite dans un grand récipient en verre juste avant de l'utiliser. Les fruits coupés sont transférés dans la solution, en veillant à ne pas les laisser trop longtemps. Une période de 10 minutes est suffisante pour les fruits coupés en tranches, et 30 minutes est suffisante pour les fruits divisés en deux.
- ✓ À la fin de la période de traitement avec la solution de sulfite, les fruits coupés sont bien égouttés. Il est conseillé de rincer les fruits traités à l'eau froide et de les laisser égoutter. Ensuite, les fruits traités sont transférés sur des plateaux de séchage pour les sécher. En général, le séchage des fruits traités avec des solutions de sulfite prend plus de temps que celui des fruits non traités, car les fruits absorbent un peu d'eau au cours du processus de trempage dans les solutions de sulfite.

On peut utiliser les jus de certains types de fruits, comme l'ananas et les agrumes tels que le citron, l'orange et le pamplemousse, lors du traitement initial des fruits, car ils contiennent de l'acide ascorbique et citrique. L'acide citrique est un acide faible par rapport à l'acide ascorbique ; par conséquent, il est moins efficace dans le traitement initial des fruits. [12]

I.11.3.2. Des prétraitements des légumes

La méthode de blanchiment (ébullition dans l'eau ou exposition à la vapeur) est considérée comme la méthode de traitement initial optimale pour les légumes avant leur séchage. Tous les légumes doivent être blanchis afin de détruire les enzymes responsables de la détérioration des légumes. Cette méthode préserve les légumes de l'altération de leur couleur en brun, du changement de leur goût en un goût amer, ou de la perte de leur saveur. [12]

Le blanchiment de tous les légumes, à l'exception des oignons, des poivrons, des gombos et des herbes médicinales, est essentiel ; car le blanchiment aide les légumes à conserver une partie de leur contenu en vitamines, contrôle la couleur, accélère le processus de séchage en relâchant les tissus, et aide à reformer l'humidité des aliments.

A. Blanchiment à la vapeur (exposition des légumes à la vapeur) : Il est possible d'utiliser un cuiseur vapeur ou de préparer un cuiseur vapeur à partir d'une bouilloire équipée d'un

couvercle hermétique, à l'intérieur de laquelle est placée un panier en fil de fer, une passoire ou un tamis. Il faut s'assurer que les légumes sont placés au-dessus du niveau de l'eau à l'intérieur de la bouilloire, où l'eau est mise à une hauteur de 5 cm et chauffée jusqu'à ébullition, puis le récipient contenant les aliments préparés pour le séchage est placé dans le cuiseur vapeur, et la bouilloire est couverte hermétiquement, la période d'ébullition se poursuit comme nécessaire. [12]

B. Blanchiment par ébullition : La bouilloire est remplie d'eau suffisante pour immerger les aliments destinés à être séchés, l'eau est chauffée jusqu'à ébullition, les aliments sont remués, et la bouilloire est couverte hermétiquement tout en poursuivant le processus d'ébullition pendant la période requise. L'eau peut être réutilisée pour blanchir plus d'aliments, en ajoutant de l'eau au besoin, et si l'eau semble sale, elle doit être remplacée par de l'eau propre. [12]

C. Définition des périodes de blanchiment : La durée de blanchiment varie en fonction de l'altitude par rapport au niveau de la mer (des altitudes plus élevées nécessitent des périodes de blanchiment plus longues), ainsi que du type et de la texture des légumes, de la quantité de légumes et de l'épaisseur des morceaux à sécher. En général, les légumes doivent être fermes mais tendres. Ils ne doivent pas être cuits complètement, mais doivent être blanchis de manière adéquate. L'efficacité du blanchiment des légumes traités peut être testée par le processus de découpe : si le blanchiment est suffisant, les morceaux apparaissent cuits et transparents jusqu'à leur centre. Le tableau 3 montre les périodes nécessaires pour le blanchiment. Cependant, il est important de vérifier régulièrement les légumes pour éviter un blanchiment excessif ou incomplet, car un blanchiment incomplet peut entraîner la détérioration des aliments pendant le stockage et affaiblir le produit séché dans sa capacité à récupérer l'humidité et à changer de couleur de manière indésirable, tandis qu'un blanchiment excessif entraîne une perte de couleur, de saveur et de valeur nutritionnelle des légumes, les rendant de texture médiocre lors de leur réhydratation. [12]

D. Phase post-blanchiment : L'eau est éliminée des légumes après le blanchiment en les plaçant directement sur des plateaux de séchage. Si l'on souhaite réutiliser l'eau, un récipient approprié est placé sous les plateaux, puis le dessous du plateau de séchage est essuyé avec un chiffon propre pour enlever l'excès d'eau.

Les légumes qui ont été blanchis sont immédiatement transférés dans le déshydrateur afin que le processus de séchage commence pendant que les légumes sont encore tièdes. [12]

I.11.4. Les type des prétraitements

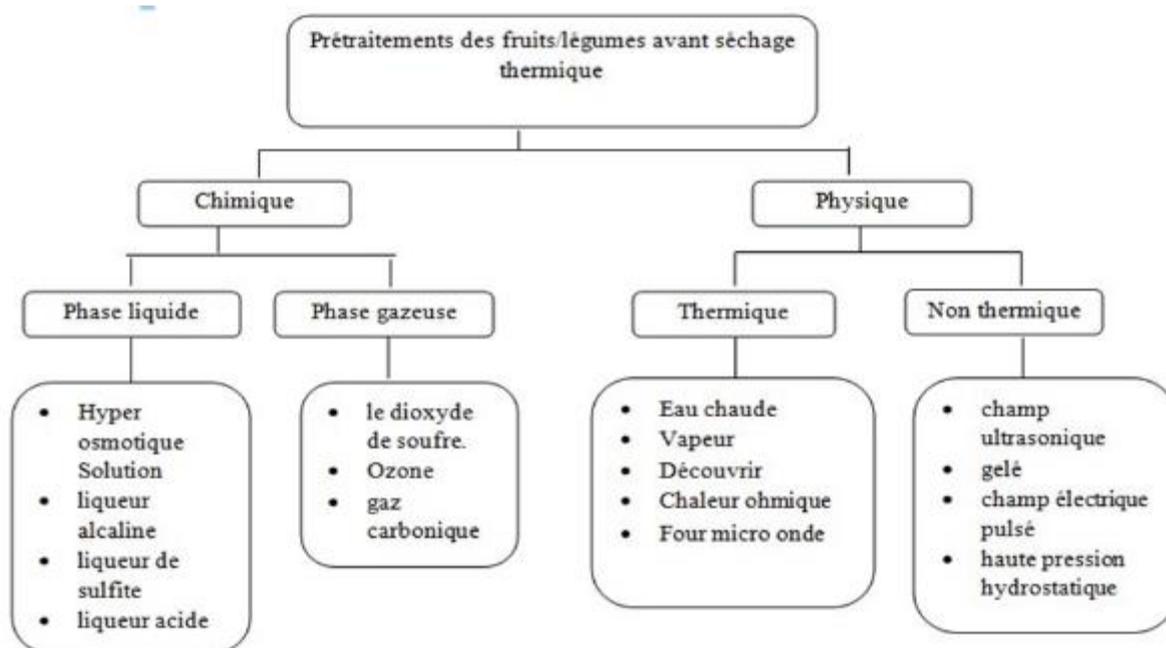


Figure I.5. Méthodes de prétraitement des fruits ou légumes avant le séchage thermique [13].

II.6. Les avantages des prétraitements

- ✓ Nettoyer le produit
- ✓ Séparer les impuretés
- ✓ Éliminer les produits endommagés et avariés
- ✓ Homogénéiser la marchandise
- ✓ Faire mûrir les cultures climactériques
- ✓ Accélérer le processus de séchage
- ✓ Inactiver l'activité enzymatique
- ✓ Préserver la saveur et les vitamines
- ✓ Réduire le nombre de micro-organismes
- ✓ Prévenir la décoloration
- ✓ Améliorer la qualité organoleptique
- ✓ Développer une couleur et une saveur spécifiques
- ✓ Prolonger la durée de conservation [13].

Conclusion

En guise de conclusion de ce chapitre initial, une présentation exhaustive du processus de séchage ainsi que de prétraitement a été faite avec soin, en soulignant magnifiquement leurs importances, leurs caractéristiques essentielles, leurs objectifs cruciaux, leurs stockages sécurisés avec leurs transports efficaces. Il est toujours extrêmement essentiel de se rappeler que le succès de chaque opération dépend de toutes les méthodes et techniques employées.

Références bibliographiques

- [1]. S. Anis, R. Souad, Technologies de séchage. Etude de cas : séchage de deux matrices végétales par étuve, mémoire de Master, Université A. Mira–Bejaia, (2018).
- [2]. B. Sid Ali, Étude de l'effet du prétraitement sur le séchage statique des fraises, Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, (2018).
- [3]. B. Roumaissa, G. Kaouther, Séchage Solaire des Produits Agricoles, Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, (2018).
- [4]. <https://quizlet.com/fr-fr/fiches-de-memorisation/cm7le-sechage-de-produits-agricoles-et-alimentaires-777550184>
- [5]. [file:///C:/Users/SAM/Desktop/master2/Guide_sechage_a_lattention_des_secheuses_et_s_echeurs_de_fruits_et_legumes__Madagascar%20\(mecanisme%20\).pdf](file:///C:/Users/SAM/Desktop/master2/Guide_sechage_a_lattention_des_secheuses_et_s_echeurs_de_fruits_et_legumes__Madagascar%20(mecanisme%20).pdf)
- [6]. D. Maroua, M. Rayhana, Séchage et qualité des aliments par le procédé de séchage solaire (indirecte) dans une zone aride, Mémoire de Master, Université de Kasdi Merbah – Ouargla, (2020).
- [7]. S. Bachir, Modélisation mathématique de séchage solaire indirect des dattes Deglet-Nour réhumidifiées, Mémoire de Master, université Kasdi Merbah Ouargla, (2015).
- [8]. B. Yamina, K. Dalila, Optimisation des paramètres influençant sur le séchage de la pomme de terre par la méthode de plan d'expérience, Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah-Ouargla, (2017).
- [9]. Ahmat TOM, Contribution au séchage solaire des produits carnés : modélisation et réalisation d'un séchoir adapté aux pays tropicaux, Mémoire de master, l'école nationale supérieure d'arts et métiers, France, (2015).
- [10]. S. Khaldi, Etude numérique du comportement thermique d'un séchoir solaire utilisant un lit thermique pour le stockage d'énergie, thèse de doctorat Université Abou Bekr Belkaid (Tlemcen, Algérie), (2018).
- [11]. E. Joseph Basse, Jochen, D. Sun, Novel nonthermal and thermal pretreatments for enhancing drying performance and improving quality of fruits and vegetables, *Trends in Food Science & Technology*, 112 (2021) 137-148
- [12]. مركز ابحاث التنوع الحيوي والبيئة، تل، نابلس، فلسطين م. سليم علي اشثية، ر. ماجد جاموس، التجفيف الشمسي للفواكه والخضروات: خبرات من فلسطين، (2010)
- [13]. B. Zineb, G. Bouchra, Impact des prétraitements avant le séchage sur la qualité des produits agricoles : étude appliquée aux produits de la région de Ghardaïa, Mémoire Master, *Université de Ghardaïa*, (2024).

CHAPITRE II : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

II. Introduction

Le chapitre II de cette revue bibliographique se concentre sur l'analyse des différentes méthodes de prétraitement et de séchage appliquées aux fruits, légumes. L'objectif principal est d'explorer comment ces techniques influencent la qualité, la texture, la conservation des nutriments et les propriétés organoleptiques des produits déshydratés. Les fruits, tels que la banane, la pomme et la fraise, ainsi que les légumes comme l'oignon et la betterave sont étudiés en détail. Ce chapitre met en lumière les avancées technologiques et les innovations dans les méthodes de séchage, en soulignant l'importance des prétraitements pour optimiser les processus de déshydratation et améliorer la qualité des produits finaux.

II.1. Les fruits

II.1.1. Banane

R. Dandamrongrak et al (2003) [1] ont analysé l'impact des prétraitements sur le séchage et la qualité des bananes séchées. Les auteurs soulignent que la déshydratation est essentielle pour prolonger la conservation des bananes, et que les prétraitements, tels que le blanchiment et l'utilisation de solutions sucrées ou acides, peuvent améliorer ce processus. Les résultats montrent que ces prétraitements réduisent significativement le temps de séchage tout en préservant la couleur et les nutriments. En conclusion, les prétraitements s'avèrent cruciaux pour optimiser le séchage des bananes, influençant positivement tant l'efficacité du processus que la qualité du produit final.

S. Prachayawarakorn et al. (2008) [2] ont exploré les effets du séchage à haute température sur les tranches de banane à faible teneur en matières grasses. Les chercheurs ont étudié les cinétiques de séchage et les impacts sur la qualité, en se concentrant sur des aspects tels que la texture, la couleur et les propriétés nutritionnelles. En soumettant les tranches à diverses températures, ils ont mesuré le taux d'humidité et observé des changements qualitatifs. Les résultats montrent que le séchage à haute température influence significativement le temps de séchage et les caractéristiques sensorielles, affectant ainsi l'acceptation du produit par les consommateurs. Cette recherche fournissant des recommandations pour optimiser le processus de séchage, contribue à une meilleure compréhension des méthodes de traitement des aliments.

E.E Abano et L.K. Sam-Amoah (2011) [3] ont analysé l'impact des prétraitements sur le séchage des tranches de banane. Elle vise à déterminer comment différentes méthodes, telles que le blanchiment, l'utilisation de solutions sucrées ou l'exposition à l'air, influencent le

temps de séchage et la qualité finale des produits. Les résultats montrent que ces prétraitements modifient significativement le temps de séchage, avec le blanchiment offrant une conservation optimale de la couleur et des solutions sucrées améliorant la texture et le goût. En conclusion, le choix du prétraitement est essentiel pour optimiser la qualité des bananes séchées.

Le document présenté par **L.A. Adepoju et al. (2011)** [4] analyse l'impact des prétraitements et des méthodes de séchage sur la qualité des bananes séchées. L'étude évalue comment des techniques comme le blanchiment et le séchage à l'air chaud ou par micro-ondes influencent la texture, la couleur et la conservation des nutriments. Les résultats montrent que des prétraitements appropriés et des méthodes de séchage efficaces améliorent les caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles des bananes séchées. En conclusion, le choix des techniques est crucial pour garantir un produit de haute qualité.

L'étude présentée par **P. Jeet et al. (2015)** [5] montre l'effet du blanchiment sur la déshydratation des tranches de banane non mûres. Les résultats indiquent que le blanchiment, qui consiste à plonger les tranches dans l'eau chaude, améliore significativement la vitesse de déshydratation en réduisant le temps nécessaire pour atteindre un taux d'humidité acceptable. De plus, le blanchiment contribue à maintenir la couleur et le goût des bananes, ce qui est essentiel pour la qualité sensorielle du produit final. Les analyses ont mis en évidence une diminution des réactions enzymatiques indésirables, ce qui permet de prolonger la durée de conservation. Ces constatations suggèrent que l'application du blanchiment avant le séchage pourrait être une méthode efficace pour optimiser la qualité des bananes déshydratées, tout en améliorant leur acceptabilité sur le marché.

L'article de **F. Sarpong et al (2018)** [6] étudie l'impact des prétraitements avec des agents anti-brunissement sur le séchage des bananes, en se concentrant sur la cinétique de séchage, l'inactivation des enzymes et la qualité finale des produits. Les agents comme le citrate et l'acide citrique réduisent l'oxydation, améliorent le taux de séchage et préservent la couleur et la saveur des bananes. En fin de compte, les bananes traitées offrent une qualité organoleptique supérieure, ce qui souligne l'importance de ces prétraitements pour l'industrie agroalimentaire.

F.N. Dehsheikh et al. (2019) [7] ont exploré une méthode innovante pour améliorer la qualité des tranches de banane séchées. Les chercheurs ont utilisé un prétraitement par enrobage à base de carboxyméthylcellulose (CMC) combiné à un système ultrasonique avant le séchage convectif. L'objectif principal était de préserver les propriétés physico-chimiques et

nutritionnelles des bananes tout en réduisant le temps de séchage. Le CMC, un polymère hydrosoluble, a été utilisé pour former une couche protectrice sur les tranches de banane, ce qui a permis de minimiser la perte de nutriments et de maintenir une meilleure texture. L'application des ultrasons a amélioré l'efficacité du processus en facilitant la pénétration du CMC dans les tissus de la banane. Les résultats ont montré que cette combinaison de prétraitement a significativement réduit le temps de séchage tout en préservant la couleur, la texture et la teneur en nutriments des tranches de banane. Cette méthode pourrait être prometteuse pour l'industrie agroalimentaire, offrant une alternative efficace pour la production de fruits séchés de haute qualité.

A.H. Soomro et al. (2020) [8] examine comment les prétraitements, tels que le blanchiment et l'immersion dans des solutions, influencent le séchage des tranches de banane. Les résultats montrent que ces prétraitements réduisent le temps de séchage et améliorent la qualité des produits finis, notamment la couleur et la texture. En conclusion, cette approche optimise le processus de séchage et pourrait augmenter la valeur ajoutée des bananes séchées dans l'industrie alimentaire.

L'étude de **R. Ghorani et al. (2021)** [9] explore l'impact d'un traitement préliminaire combinant de l'acide citrique en aérosol et des radiofréquences sur le séchage à l'air chaud des bananes. L'objectif principal est d'évaluer comment ces techniques améliorent le processus de séchage. Les chercheurs ont traité les bananes avec l'acide citrique avant de les soumettre à un séchage, mesurant les effets sur les propriétés physiques et les caractéristiques de séchage. Les résultats indiquent une réduction significative du temps de séchage et une amélioration de la qualité du produit, tout en conservant les nutriments et en réduisant l'oxydation. Ainsi, cette méthode se révèle efficace pour optimiser le séchage des bananes, avec des implications prometteuses pour l'industrie agroalimentaire.

V. P. Nguyen et al. (2023) [10] ont exploré l'effet des prétraitements sur la qualité et la conservation des bananes séchées via un séchoir solaire en dôme. Les chercheurs ont mis en œuvre diverses méthodes de prétraitement, telles que le blanchiment et l'immersion dans des solutions sucrées, afin d'améliorer les caractéristiques organoleptiques des bananes, notamment la couleur, le goût et la texture. Les résultats indiquent que ces prétraitements non seulement améliorent la qualité des bananes séchées, mais prolongent également leur durée de conservation en limitant la dégradation des nutriments. Cette recherche apporte des indications précieuses pour les producteurs et les industries alimentaires, en soulignant l'importance des prétraitements dans l'utilisation de l'énergie solaire pour le séchage des fruits.

G.G. Abd El-Wahhab et al. (2023) [11] ont examiné comment les prétraitements affectent la qualité des bananes séchées, en mettant en comparaison deux méthodes de séchage : l'air chaud et le séchage sous vide. L'auteur évalue divers prétraitements, tels que le blanchiment et l'utilisation de solutions sucrées ou acides, qui améliorent la couleur, la texture et la saveur des bananes. Les résultats montrent que le séchage sous vide préserve mieux les nutriments et la qualité sensorielle par rapport à la méthode à air chaud. En conclusion, l'étude souligne l'importance des prétraitements pour optimiser la qualité des bananes séchées et l'impact significatif de la méthode de séchage choisie sur les propriétés finales du produit.

A. Roman-Chipantiza et al. (2023) [12] ont présenté une étude approfondie des diverses méthodes de séchage des bananes, en mettant en avant les innovations récentes. Son objectif est de fournir une vue d'ensemble des techniques existantes, en évaluant leurs avantages et inconvénients en matière d'efficacité, de coût et de qualité du produit final. Les auteurs examinent des méthodes variées, telles que le séchage à l'air libre, au soleil et par micro-ondes, tout en soulignant les avancées technologiques qui optimisent la conservation des nutriments et la texture des bananes séchées. L'étude aborde également les impacts environnementaux et économiques des différentes méthodes, concluant que l'innovation et l'adoption de techniques durables sont essentielles pour améliorer la qualité des produits tout en minimisant l'impact environnemental.

T. Kağan Tepe (2023) [13] a examiné l'impact du prétraitement à l'éthanol sur le séchage des bananes. L'étude cherche à améliorer ce processus en analysant ses effets sur les caractéristiques de séchage, la couleur et le ratio de retrait, tout en comparant les performances des modèles de réseau de neurones artificiels et de séchage en couche mince. Les résultats montrent que le prétraitement à l'éthanol améliore l'efficacité du séchage, préserve mieux la couleur des bananes et réduit la déformation. En outre, le modèle de RNA offre des prédictions plus précises des caractéristiques de séchage, soulignant l'importance de cette méthode pour optimiser le processus.

Y. Fu et al. (2025) [14] ont évalué les effets des traitements non thermiques sur la déshydratation des tranches de banane. L'objectif principal est de déterminer leur influence sur la qualité et l'efficacité du processus de déshydratation par micro-ondes sous vide. Les méthodes incluent la THz-TDS pour analyser les propriétés structurelles et hydriques, et la NIR-HSI pour évaluer la composition chimique et la qualité des fruits déshydratés. Les résultats montrent que des traitements comme l'utilisation d'enzymes ou de solutions osmotiques améliorent la perte d'eau et la texture, tandis que les techniques THz et NIR

mettent en lumière des changements significatifs dans la structure et la composition chimique. En conclusion, ces traitements non thermiques, associés à la déshydratation par micro-ondes, permettent d'optimiser la qualité des tranches de banane, avec des implications notables pour l'industrie agro-alimentaire.

II.1.2. Pomme

L'article de **K.J. Mothibe et al. (2014)** [15] analyse les effets des prétraitements par ultrasons et micro-ondes sur le processus de déshydratation des pommes dans un lit fluidisé. Les auteurs démontrent que ces prétraitements améliorent significativement le taux de déshydratation, permettant un séchage plus rapide et efficace. Les pommes traitées par ultrasons montrent une meilleure rétention de couleur, de goût et de nutriments, surpassant celles traitées par micro-ondes en termes de qualité finale. L'étude met également en évidence des améliorations des propriétés texturales, rendant les pommes séchées plus attrayantes pour les consommateurs.

H.O. Wang et al. (2016) [16] ont examiné l'effet de divers prétraitements sur l'efficacité et la qualité de la surgélation sous vide des tranches de pomme. La recherche explore principalement : l'influence de différentes méthodes de prétraitement sur les caractéristiques physico-chimiques des tranches de pomme avant et après surgélation, les mécanismes de formation et de distribution des cristaux de glace selon les prétraitements appliqués, l'évaluation comparative des attributs de qualité des produits finaux. Les résultats démontrent que certains prétraitements modifient significativement la microstructure cellulaire et la composition biochimique des tranches de pomme, ce qui affecte directement leur comportement lors de la surgélation sous vide. L'étude révèle que des méthodes spécifiques permettent de limiter la taille des cristaux de glace formés, notamment les dommages cellulaires et de mieux préserver l'intégrité tissulaire du fruit. Ces prétraitements influencent également positivement la rétention de la couleur, de la texture et des composés nutritifs après décongélation. La recherche identifie les combinaisons optimales de prétraitements qui permettent d'obtenir des tranches de pomme surgelées sous vide de haute qualité, offrant un meilleur maintien des caractéristiques sensorielles et nutritionnelles par rapport aux méthodes conventionnelles.

X. Shen et al. (2018) [17] ont examiné l'impact du prétraitement diélectrique par ultrasons sur la stabilité oxydative des chips de pomme frites sous vide. La recherche se concentre principalement sur l'évaluation de l'efficacité du prétraitement diélectrique combiné aux ultrasons comme méthode alternative de préparation des chips, l'analyse des mécanismes

de résistance à l'oxydation induite par ce traitement, les conséquences sur la qualité et la durée de conservation des chips de pomme produits. Les résultats montrent que cette méthode de prétraitement modifie favorablement la microstructure et la composition biochimique des tranches de pomme avant la friture sous vide. Le traitement diélectrique par ultrasons permet une réduction significative de l'absorption d'huile tout en favorisant la préservation des antioxydants naturels dans le produit final. Les analyses révèlent une diminution notable des marqueurs d'oxydation lipidique et une meilleure stabilité colorimétrique pendant le stockage par rapport aux puces conventionnelles.

X. Li et al. (2019) [18] ont examiné une méthode innovante pour améliorer la qualité des cubes de pommes déshydratés en combinant un prétraitement osmotique avec la technologie de goulotte de pression de contrôle instantané (DIC). La recherche se concentre sur deux défis majeurs du séchage à l'air chaud des pommes : l'amélioration de la texture souvent altérée lors des procédés de déshydratation conventionnels et la prévention de la déformation et du rétrécissement des morceaux de fruits. Les résultats démontrent que le prétraitement osmotique, lorsqu'il est couplé à la technologie DIC, permet de modifier significativement la microstructure des tissus de pomme. Ce processus combiné crée une porosité contrôlée qui favorise l'évaporation de l'eau tout en maintenant l'intégrité structurale du produit. Les analyses révèlent que les cubes de pommes traités par cette méthode présentent une texture plus, un rétrécissement réduit et de meilleures propriétés de réhydratation par rapport aux échantillons séchés conventionnellement.

S.R. Shewale et al (2019) [19] ont analysé l'impact du prétraitement par micro-ondes électromagnétiques (EMR) sur le séchage à l'air humide des tranches de pomme. La recherche s'articule autour de trois axes principaux tel que l'influence du prétraitement EMR sur les paramètres de transfert de masse pendant le processus de déshydratation, l'évaluation de l'efficacité énergétique des différentes combinaisons de techniques, les effets sur la qualité finale des tranches de pomme déshydratées. Les résultats démontrent que le prétraitement EMR accélère significativement le processus de séchage en modifiant les caractéristiques structurelles des tissus de la pomme, facilitant ainsi l'évaporation de l'eau. Cette méthode combinée permet une réduction notable de la consommation énergétique par rapport aux techniques conventionnelles tout en préservant mieux certains attributs qualitatifs des pommes, comme la couleur, la texture et les composés nutritifs.

R. Zhu et al. (2022) [20] ont examiné des méthodes innovantes pour déshydrater des tranches de pommes en combinant des prétraitements de séchage séquentiel avec un séchage à l'air

assisté par ultrasons aéroportés. L'analyse se concentre sur plusieurs aspects clés les mécanismes de transfert de masse pendant le processus de déshydratation, l'évolution des profils d'acides phénoliques et organiques dans les pommes traitées, l'impact des différentes techniques sur l'activité de la polyphénol oxydase (PPO), enzyme responsable du brunissement. La recherche démontre que les ultrasons aéroportés, utilisés en complément des méthodes traditionnelles, permettent d'accélérer significativement le processus de déshydratation tout en préservant davantage les composés bioactifs des pommes.

L'étude approfondie présentée par **J. Wang et al. (2022)** [21] analyse les mécanismes par lesquels les prétraitements à l'éthanol et au blanchiment transforment la structure des tranches de pomme au niveau microscopique et nanoscopique, influençant ainsi leurs propriétés de séchage et leurs caractéristiques physicochimiques. Les résultats révèlent que ces deux prétraitements affectent distinctement l'architecture cellulaire et la composition des polysaccharides des parois cellulaires. Le blanchiment provoque une gélatinisation partielle de l'amidon, une solubilisation des pectines et une dénaturation protéique, modifiant significativement l'intégrité structurelle des tissus. L'éthanol, quant à lui, altère principalement la perméabilité membranaire et extrait certains composés liposolubles, tout en préservant davantage la structure des parois cellulaires. Ces modifications structurelles influencent directement les phénomènes de transfert d'humidité : les deux prétraitements accélèrent la diffusion de l'eau mais par des mécanismes différents. L'analyse de la nanostructure des polysaccharides pariétaux, réalisée par des techniques avancées (diffraction aux rayons X, spectroscopie FTIR), révèle des réarrangements moléculaires spécifiques qui expliquent les différences observées dans les cinétiques de séchage et les propriétés de réhydratation. Sur le plan physicochimique, ces modifications structurelles entraînent des variations significatives dans la texture, la couleur et la rétention des composés bioactifs.

L'article de **N. Çetin et C. Sağlam (2022)** [22] examine les effets des méthodes de séchage assistées par ultrasons sur les caractéristiques de séchage, ainsi que sur les propriétés physiques et bioactives des pommes tombées. Les résultats montrent que le prétraitement par ultrasons améliore l'efficacité du séchage en réduisant le temps nécessaire pour éliminer l'humidité. Cette méthode influence positivement les propriétés physiques des pommes, telles que la texture et la couleur, tout en préservant les composés bioactifs, notamment les antioxydants. Les résultats montrent que l'utilisation d'ultrasons peut être une technique prometteuse pour optimiser le séchage des fruits, en améliorant à la fois la qualité et la valeur nutritionnelle des produits finis.

K. Kriaa, A.F. Nassar, (2022) [23], Cette recherche présente une analyse comparative approfondie de trois méthodes de prétraitement distinctes (blanchiment, champ électrique pulsé et congélation) appliquées aux pommes Gala avant leur séchage par micro-ondes. L'étude évalue systématiquement l'influence de ces prétraitements sur l'efficacité du séchage et les attributs qualitatifs du produit final. Les résultats démontrent que tous les prétraitements modifient significativement la cinétique de séchage par rapport aux échantillons témoins, mais avec des mécanismes et des intensités variables. Le champ électrique pulsé s'est révélé particulièrement efficace pour réduire le temps de séchage grâce à l'électroporation des membranes cellulaires facilitant la diffusion de l'eau. Le blanchiment a montré une efficacité intermédiaire en perturbant la structure cellulaire et en inactivant les enzymes, tandis que la congélation, par la formation de cristaux de glace, a également amélioré la perméabilité tissulaire. Concernant les attributs de qualité, le champ électrique a permis la meilleure préservation des composés bioactifs et des caractéristiques organoleptiques, suivi du prétraitement par congélation. Le blanchiment, bien qu'efficace contre le brunissement enzymatique, a entraîné des pertes plus importantes de nutriments thermosensibles.

Z. Lin et al. (2022) [24] ont examiné comment le blanchiment à la vapeur et le prétraitement à l'éthanol influencent le processus de séchage et la qualité finale des tranches de pomme. Les résultats révèlent que les deux prétraitements accélèrent considérablement les taux de séchage par rapport aux échantillons non traités. Cette amélioration est attribuée aux modifications microstructurales observées : le blanchiment à la vapeur provoque une gélatinisation partielle de l'amidon et une perturbation des parois cellulaires, tandis que le prétraitement à l'éthanol augmente la perméabilité membranaire et modifie les caractéristiques de surface. Sur le plan qualitatif, les tranches prétraitées ont présenté une meilleure rétention de la couleur, une texture plus désirable et des propriétés de réhydratation supérieures. Le blanchiment à la vapeur s'est révélé particulièrement efficace pour inactiver les enzymes responsables du brunissement, tandis que le traitement à l'éthanol a permis une meilleure préservation des composés aromatiques. Cette recherche offre une compréhension approfondie des mécanismes par lesquels ces prétraitements améliorent le séchage des pommes, fournissant ainsi des perspectives précieuses pour optimiser les processus industriels de production de fruits déshydratés de haute qualité.

L'étude réalisé par **J. Bai et al. (2023)** [25] analyse en profondeur l'impact de diverses méthodes de prétraitement sur les processus de séchage des tranches de pommes. Les chercheurs ont examiné plusieurs prétraitements (blanchiment, solutions d'acides organiques,

sels de calcium, osmotiques) et ont évalué leurs effets sur la cinétique de séchage, les déformations volumétriques, les attributs qualitatifs et les changements microstructuraux. Les résultats révèlent que les prétraitements modifient significativement la cinétique de séchage, certains accélérant le processus en altérant la perméabilité cellulaire. L'analyse tridimensionnelle démontre que les différents prétraitements influencent distinctement le rétrécissement et la déformation des tranches pendant le séchage. Les observations microstructurales au microscope électronique ont mis en évidence des modifications cellulaires spécifiques selon le prétraitement appliqué, affectant directement les propriétés de texture du produit final. Les prétraitements à base de calcium se sont particulièrement distingués pour leur capacité à maintenir l'intégrité structurelle, tandis que les solutions acides ont efficacement limité le brunissement enzymatique. Les traitements osmotiques ont influencé positivement les caractéristiques sensorielles mais ont modifié les profils nutritionnels. Cette recherche fournit des données précieuses pour optimiser les protocoles de séchage industriels, permettant de sélectionner le prétraitement le plus adapté selon les caractéristiques de qualité recherchées pour les pommes déshydratées.

K. Subrahmanyam et al. (2024) [26] ont examiné l'impact du prétraitement au plasma froid sur les tranches de pomme séchées par la méthode de fenêtre de réactance. La recherche démontre que l'application du plasma froid avant le séchage modifie significativement la cinétique de séchage et améliore plusieurs attributs qualitatifs du produit final. Les résultats indiquent que le prétraitement au plasma accélère le taux de séchage et réduit le temps total nécessaire, probablement en modifiant la structure cellulaire de surface des tranches de pomme. Cette méthode permet une meilleure préservation de la couleur, limitant le brunissement enzymatique sans nécessiter d'additifs chimiques. De plus, les échantillons prétraités au plasma ont montré une meilleure rétention des composés phénoliques, de la vitamine C et de la capacité antioxydante par rapport aux échantillons non traités. La texture et les propriétés de réhydratation des tranches séchées ont également été améliorées par ce procédé. Cette approche innovante combine les avantages du plasma froid (traitement non thermique) avec l'efficacité énergétique du séchage à fenêtre de réactance, offrant une alternative prometteuse aux méthodes conventionnelles pour l'industrie des fruits déshydratés, tout en répondant à la demande croissante de produits minimalement transformés et de haute qualité nutritionnelle.

A. Thakur et al. (2024) [27] ont analysé l'influence de l'épaisseur des tranches (3, 5 et 7 mm) et de divers prétraitements (acide ascorbique, acide citrique, blanchiment) sur la qualité des

tranches de pommes Golden Delicious séchées. Les résultats démontrent que ces paramètres affectent significativement les caractéristiques physico-chimiques, nutritionnelles et organoleptiques du produit final. Les tranches plus fines (3 mm) présentent généralement un meilleur séchage et une meilleure préservation des qualités nutritionnelles. Parmi les prétraitements, l'acide ascorbique s'est révélé particulièrement efficace pour limiter le brunissement enzymatique et préserver la vitamine C. Le blanchiment, bien qu'efficace contre le brunissement, a entraîné une perte plus importante de composés nutritifs. Cette recherche fournit des données précieuses pour optimiser les processus industriels de production de pommes séchées de haute qualité, en suggérant l'utilisation de tranches fines prétraitées à l'acide ascorbique pour obtenir un produit conservant au mieux ses qualités organoleptiques et nutritionnelles.

II.1.2. Fraise

L'article présenté par **J. Garcia-Noguera et al. (2010)** [28] explore l'impact de la déshydratation osmotique des fraises en utilisant des ultrasons. Les auteurs examinent comment la durée du prétraitement et la fréquence des ultrasons influencent le processus de déshydratation. Les résultats montrent que l'application d'ultrasons augmente l'efficacité de la déshydratation en améliorant la pénétration des agents osmotique dans le fruit. Les variations de temps et de fréquence des ultrasons ont des effets significatifs sur le taux d'humidité résiduel et la texture des fraises séchées. En conclusion, cette méthode pourrait offrir une approche innovante pour améliorer la qualité des fruits déshydratés tout en réduisant le temps de traitement.

L.H. Zhang et al. (2018) [29] ont exploré comment différents prétraitements et les conditions de lyophilisation affectent la cinétique de séchage et les propriétés physicochimiques des fraises. Les chercheurs examinent plusieurs méthodes de prétraitement, telles que le blanchiment et la déshydratation osmotique, et analysent leur impact sur le processus de séchage. Les fraises sont traitées avec différentes méthodes avant d'être soumises à des conditions de lyophilisation spécifiques. La cinétique de séchage est mesurée afin de déterminer la perte d'humidité au fil du temps, et diverses propriétés physicochimiques, comme la couleur, la texture et la teneur en nutriments, sont évaluées. Les résultats indiquent que les prétraitements jouent un rôle crucial dans la vitesse de séchage, réduisant le temps nécessaire pour atteindre le taux d'humidité souhaité. De plus, certains prétraitements améliorent significativement la qualité des fraises lyophilisées, contribuant à une meilleure conservation des caractéristiques organoleptiques.

L. Zhang et al. (2021) [30] ont examiné l'impact des prétraitements à ultra-haute pression et par ultrasons sur les propriétés des chips de fraises préparées par lyophilisation sous vide. Les chercheurs analysent comment ces méthodes innovantes influencent la texture, la couleur et la conservation des composés bioactifs des fraises. Les fraises sont soumises à des traitements à ultra-haute pression et par ultrasons avant leur lyophilisation sous vide. Les propriétés des chips résultantes sont évaluées à travers des analyses physicochimiques et sensorielles. Les résultats révèlent que les prétraitements améliorent significativement la texture et la couleur des chips de fraises, tout en préservant les composés volatils et les nutriments. Les chips traitées présentent également une meilleure acceptabilité sensorielle, offrant une expérience gustative supérieure. L'étude démontre que les prétraitements à ultra-haute pression et par ultrasons sont efficaces pour optimiser la qualité des chips de fraises lyophilisées, proposant des approches prometteuses pour l'industrie agroalimentaire en matière de conservation et de valorisation des fruits.

L. Zhang et al. (2020) [31] ont étudié comment le prétraitement à haute pression hydrostatique affecte sur les propriétés des tranches de fraises lyophilisées sous vide. Les chercheurs évaluent comment ce prétraitement affecte la texture, la couleur et la conservation des composés bioactifs des fraises. Les tranches de fraises sont soumises à un traitement à haute pression hydrostatique avant la lyophilisation. Les propriétés physicochimiques des échantillons sont ensuite analysées, y compris les changements dans la structure cellulaire, la rétention des nutriments et l'acceptabilité sensorielle. Les résultats montrent que le prétraitement à haute pression hydrostatique améliore significativement la texture et la couleur des fraises lyophilisées, tout en préservant les composés volatils et les propriétés nutritionnelles. Les échantillons traités sont mieux acceptés lors des tests sensoriels. L'étude souligne l'efficacité du prétraitement à haute pression hydrostatique pour optimiser la qualité des tranches de fraises lyophilisées sous vide, offrant des perspectives intéressantes pour l'industrie agroalimentaire en matière de conservation et de valorisation des fruits.

J. Jiang et al. (2021) [32] ont exploré l'impact des prétraitements de déshydratation osmotique assistée par ultrasons sur le processus de séchage et les caractéristiques de qualité des fraises lyophilisées à lit fluidisé pulsé. Les chercheurs évaluent comment l'application d'ultrasons pendant le prétraitement osmotique influence la perte d'humidité et les propriétés physicochimiques des fraises. Les fraises sont d'abord soumises à un traitement de déshydratation osmotique, où des ultrasons sont appliqués pour améliorer l'efficacité de l'extraction de l'eau. Après ce prétraitement, les échantillons sont séchés en utilisant la

méthode de lyophilisation à lit fluidisé pulsé. Les résultats montrent que l'utilisation d'ultrasons pendant le prétraitement améliore significativement la vitesse de séchage, réduisant le temps nécessaire pour atteindre le taux d'humidité souhaité. De plus, les fraises traitées conservent mieux leurs caractéristiques de qualité, y compris la couleur, la texture et la teneur en composés bioactifs. L'étude met en évidence l'efficacité des prétraitements de déshydratation osmotique assistée par ultrasons pour optimiser le séchage des fraises et améliorer leurs propriétés organoleptiques, fournissant des informations précieuses pour l'industrie agroalimentaire.

C. Wang et al. (2022) [33] ont examiné l'impact des traitements par ultrasons et à ultra-haute pression sur les composés volatils et les propriétés gustatives des tranches de fraises lyophilisées sous vide. Les chercheurs évaluent comment ces prétraitements modifient la composition chimique et organoleptique des fraises, en se concentrant sur la préservation des arômes et des saveurs. Les tranches de fraises sont soumises à des prétraitements par ultrasons et à ultra-haute pression avant d'être lyophilisées sous vide. Les analyses incluent la quantification des composés volatils à l'aide de techniques chromatographiques et l'évaluation des caractéristiques gustatives par des tests sensoriels. Les résultats montrent que les prétraitements améliorent significativement la conservation des composés volatils, augmentant ainsi l'intensité des arômes et des saveurs dans les fraises lyophilisées. En outre, les traitements contribuent à une meilleure texture et à une réduction des pertes nutritionnelles.

B. Biernacka et al. (2022) [34] ont exploré l'impact des prétraitements et des conditions de lyophilisation sur la cinétique de séchage et les propriétés physicochimiques des fraises. Les chercheurs examinent plusieurs prétraitements, notamment le blanchiment, la déshydratation osmotique et le traitement par acide, pour déterminer comment ces méthodes affectent le processus de lyophilisation. Les fraises sont soumises à différents prétraitements avant d'être lyophilisées sous des conditions contrôlées de température et de pression. La cinétique de séchage est analysée en mesurant la perte d'humidité au fil du temps, permettant d'établir des courbes de séchage et de modéliser le comportement de l'humidité. Les résultats révèlent que les prétraitements influencent significativement la vitesse de séchage et la qualité des fraises lyophilisées. Les propriétés physicochimiques, telles que la couleur, la texture et la teneur en composés bioactifs, sont également améliorées par certains prétraitements, contribuant à un produit final de meilleure qualité.

D. Jiang et al. (2024) [35] ont étudié l'impact de différentes méthodes de prétraitement sur le comportement de séchage des tranches de fraises et sur leurs propriétés physicochimiques lors du séchage combiné par infrarouge et à air chaud. Les prétraitements étudiés incluent le blanchiment, la déshydratation osmotique et le traitement par ultrasons. Les tranches de fraises sont soumises à ces prétraitements avant d'être séchées en utilisant une technique de séchage innovante qui combine l'infrarouge et l'air chaud. Les chercheurs évaluent la cinétique de séchage, mesurant la perte de poids des échantillons au fil du temps, ainsi que la température et l'humidité relative pendant le processus. Les résultats montrent que les prétraitements influencent significativement la vitesse de séchage, réduisant le temps nécessaire pour atteindre le niveau d'humidité souhaité. De plus, les propriétés physicochimiques, telles que la couleur, la texture et la teneur en composés bioactifs, sont améliorées par certains prétraitements, contribuant ainsi à une meilleure qualité du produit final.

L. Mendez et al. (2025) [36] ont examiné l'impact des prétraitements anti-adhérences sur la qualité des fraises séchées. Le séchage à la fraise est essentiel pour conserver les fruits, mais il peut entraîner des adhérences qui compromettent leur qualité nutritionnelle et organoleptique. Pour résoudre ce problème, divers prétraitements, tels que le blanchiment, l'utilisation de solutions sucrées et salées, ainsi que le traitement acide, ont été appliqués. Ces prétraitements, composés de diverses substances, influencent non seulement la fluidisation des morceaux de fruits mais aussi la préservation de leurs composés bioactifs. L'étude démontre que ces prétraitements réduisent efficacement les adhérences tout en préservant les composés bioactifs, notamment les anthocyanines et la vitamine C. L'étude évalue l'impact de ces traitements sur des paramètres clés comme la teneur en polyphénols, la capacité antioxydante et la rétention de vitamine C, afin de déterminer l'efficacité du procédé sur la qualité nutritionnelle.

II. 2. Les légumes

II.2.1. Oignons

D.A. Rane et al. (2016) [37] ont penché sur diverses méthodes de prétraitement destinées à améliorer la qualité des oignons séchés. Parmi ces techniques, le trempage dans des solutions osmotiques, utilisant des concentrés de sel ou de sucres comme le chlorure de sodium et le glucose, est mis en avant comme une méthode efficace pour optimiser la déshydratation. En outre, le blanchiment, qui consiste en une immersion rapide des tranches d'oignon dans l'eau bouillante suivie d'un refroidissement, est employé pour inactiver les enzymes pouvant nuire à

la qualité du produit. Des traitements acides peuvent également être intégrés, tels que des solutions d'acide citrique, visant à améliorer la texture et à préserver les composants bioactifs. La durée de trempage dans les solutions osmotiques peut varier de 30 minutes à 2 heures selon la concentration et l'épaisseur des tranches, qui sont généralement découpées en rondelles de 3 à 7 mm pour une circulation adéquate de la solution et un séchage uniforme. Le prétraitement par osmose est jugé le plus efficace car il réduit le temps de séchage tout en préservant les qualités organoleptiques des oignons. Les conclusions de l'article soulignent que l'optimisation des prétraitements chimiques par osmose a un impact considérable sur les caractéristiques physiques et sensorielles des tranches déshydratées. L'utilisation de la méthodologie de surface de réponse permet d'établir les meilleures conditions de traitement, maximisant ainsi la qualité du produit final en termes de texture, couleur, goût et valeur nutritionnelle, nécessitant un équilibre optimal entre la concentration de la solution et le temps de traitement.

L'étude effectuée par **B.k. Pooja et al. (2018)** [38] examine les diverses méthodes de prétraitement destinées à améliorer les qualités des oignons séchés par déshydratation solaire. Parmi les techniques présentées, la découpe des oignons en tranches de 1 à 2 cm facilite un séchage optimal. Le blanchiment, réalisé à la vapeur ou dans l'eau chaude pendant 2 à 5 minutes, se révèle efficace pour inactiver les enzymes responsables de la dégradation des produits. Les traitements chimiques, incluant l'acide ascorbique pour l'oxydation, les sulfites pour la couleur, et les solutions salines pour la texture, sont également explorés. La durée de séchage post-blanchiment s'étend de 6 à 12 heures, selon l'épaisseur des tranches et l'humidité ambiante. L'étude montre que l'utilisation conjointe du blanchiment et de l'acide ascorbique est souvent la méthode la plus efficace pour maintenir la qualité des oignons. En conclusion, il met en lumière l'importance des prétraitements pour améliorer la couleur, la texture, et la durée de conservation des oignons séchés, ce qui est essentiel pour les applications commerciales.

A. Yadav et al. (2020) [39] ont étudié diverses méthodes de prétraitement visant à optimiser la qualité des oignons séchés. Parmi les approches développées, le blanchiment, qui consiste à plonger les tranches d'oignon dans l'eau bouillante pour inactiver les enzymes, est une technique thermique clé. À cela s'ajoutent des prétraitements chimiques, comme le trempage dans des solutions salines ou acides (par exemple, l'acide citrique), capables de modifier la structure cellulaire et d'améliorer l'efficacité de la déshydratation. Les prétraitements osmotiques, qui impliquent l'utilisation de solutions concentrées pour extraire l'eau des

oignons avant déshydratation, sont également considérés comme efficaces pour faciliter le processus. La durée des prétraitements varie : le blanchiment prend généralement de 2 à 5 minutes, tandis que les temps de trempage s'étendent de 10 à 30 minutes, et les prétraitements osmotiques peuvent durer de 30 minutes à plusieurs heures. Les tranches d'oignon, souvent coupées en rondelles de 2 à 5 mm, garantissent une déshydratation uniforme. Les conclusions des études similaires soulignent que les prétraitements, ainsi que l'épaisseur des tranches et les méthodes de séchage, influencent de manière significative les caractéristiques de déshydratation, notamment le temps de séchage, la texture, la couleur et la réhydratation. Les meilleurs résultats en matière de qualité du produit final et d'efficacité de séchage se révèlent souvent avec des prétraitements adaptés à l'épaisseur choisie.

L'étude présentée par **S. Savitha et al. (2023)** [40] montre l'impact de diverses méthodes de prétraitement sur la qualité des oignons séchés. Parmi ces méthodes, le traitement par lumière pulsée est mis en avant pour sa capacité à désactiver les enzymes et réduire la charge microbienne avant la déshydratation. En complément, le trempage dans des solutions chimiques est utilisé pour améliorer les qualités organoleptiques et nutritionnelles des oignons. Après ces prétraitements, les oignons sont déshydratés, généralement par des techniques de séchage à air chaud. La durée d'exposition à la lumière pulsée, qui peut aller de quelques secondes à quelques minutes, est cruciale pour l'efficacité du traitement, tandis que les temps de trempage varient de 10 à 30 minutes selon la solution employée. Les oignons sont souvent coupés en miettes ou en tranches fines de 2 à 5 mm pour assurer une déshydratation uniforme. Les résultats indiquent que le traitement par lumière pulsée est particulièrement efficace pour préserver les qualités nutraceutiques tout en favorisant une déshydratation efficace. En conclusion, bien que l'accès direct à l'article soit limité, des études similaires montrent que ce prétraitement aide à maintenir les composés bioactifs des oignons durant le stockage, prolongeant ainsi leur durée de conservation et conservant les caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles du produit final.

S. Eda et al. (2023) [41] ont exploré diverses méthodes de prétraitement destinées à améliorer la qualité des oignons séchés. Parmi les techniques analysées, les prétraitements chimiques, incluant l'utilisation de solutions de trempage telles que le sel ou l'acide citrique, s'avèrent particulièrement efficaces pour optimiser la déshydratation. De plus, le trempage dans l'eau chaude permet d'inactiver les enzymes, facilitant ainsi le processus de séchage. Le blanchiment, consistant à plonger les tranches d'oignon dans de l'eau bouillante avant de les refroidir rapidement, est aussi discuté pour sa capacité à désactiver les enzymes. Les durées

de traitement varient ; le trempage peut aller de 10 minutes à 1 heure, tandis que le blanchiment s'effectue en 2 à 5 minutes. Pour une déshydratation uniforme sans compromettre les qualités sensorielles, les tranches d'oignon sont souvent coupées en rondelles de 3 à 7 mm d'épaisseur. Les résultats indiquent que les prétraitements chimiques, en particulier ceux avec des solutions salines ou acides, améliorent significativement la texture et la préservation des propriétés nutritives, tout en réduisant le temps de déshydratation.

L'article présenté **M. Piroozi et al. (2023)** [42] examine plusieurs méthodes de prétraitement visant à optimiser la qualité des oignons séchés. Les techniques incluent la congélation, où les oignons sont soumis à des températures très basses pour créer des cristaux de glace dans les cellules, suivie de diverses méthodes de décongélation, telles que celle à température ambiante, dans l'eau chaude, ou par micro-ondes. Après cette phase, les oignons passent à un processus de séchage afin de réduire leur humidité et de produire de la poudre. La durée de congélation peut aller de quelques heures à une nuit, tandis que le temps de décongélation varie selon la méthode choisie, allant de quelques minutes pour les micro-ondes à des périodes plus longues pour d'autres techniques. Les oignons coupés en tranches de 3 à 5 mm garantissent une congélation et une décongélation homogènes, favorisant un séchage efficace. Le prétraitement par congélation-décongélation, particulièrement lorsque associé à une décongélation rapide, apparaît comme le plus efficace, préservant les propriétés organoleptiques et nutritives des oignons tout en améliorant la cinétique de séchage. En conclusion, l'article souligne que ces prétraitements optimisent le processus de séchage, réduisent le temps de traitement et conservent les qualités organoleptiques, mettant en lumière l'importance de la méthode de décongélation sur les caractéristiques finales du produit.

A. Anil et al. (2024) [43] ont exploré plusieurs méthodes de prétraitement afin d'optimiser la qualité des oignons séchés. Parmi les techniques examinées, le prétraitement osmotique, utilisant des solutions de hydrocolloïdes, est jugé le plus efficace, car il améliore la déshydratation tout en préservant les composants bioactifs et en améliorant la texture des oignons après réhydratation. D'autres méthodes comme le blanchiment, qui consiste en une immersion rapide des tranches dans l'eau bouillante, et le séchage à l'air chaud, qui applique une chaleur douce pour réduire l'humidité, sont également abordées. La durée du prétraitement osmotique peut varier de 30 minutes à plusieurs heures, en fonction de la concentration de la solution et de l'épaisseur des tranches, idéalement entre 5 et 10 mm pour une déshydratation uniforme. En conclusion, l'assistance hydrocolloïde s'avère essentielle, car elle garantit non seulement une meilleure qualité des aliments déshydratés, mais aussi une

préservation accrue de leurs propriétés nutritionnelles, confirmant ainsi les bénéfices des techniques de déshydratation avancées.

II.2.2. Betterave

K.S. Hidangmayum et al. (2022) [44] ont étudié l'effet du prétraitement sous haute pression sur les propriétés de séchage des cubes de betterave. Les chercheurs évaluent comment ce traitement modifie la structure cellulaire, favorisant ainsi l'élimination de l'humidité. Les résultats montrent que le prétraitement à haute pression améliore la vitesse de séchage, réduisant le temps nécessaire par rapport aux méthodes traditionnelles. De plus, les betteraves traitées présentent une meilleure conservation des nutriments et une couleur plus vive, ce qui améliore leur qualité organoleptique. Les analyses révèlent également une texture plus tendre, rendant le produit final plus attrayant pour les consommateurs. Les auteurs soulignent que cette méthode pourrait offrir une alternative efficace pour l'industrie agroalimentaire, en optimisant le processus de séchage tout en préservant la qualité nutritionnelle des légumes. En conclusion, le prétraitement à haute pression représente une approche prometteuse pour améliorer les techniques de déshydratation des betteraves, avec des implications significatives pour la durabilité et la qualité des produits alimentaires.

H. Memis et al. (2023) [45] se penchent sur l'usage de la déshydratation osmotique. Assistée par ultrasons comme prétraitement avant le séchage aux micro-ondes des betteraves. Les chercheurs optimisent les paramètres tels que le temps d'immersion, la concentration de la solution osmotique et l'intensité des ultrasons pour maximiser l'efficacité du processus. Les résultats indiquent que ce prétraitement améliore la perte d'humidité et réduit significativement le temps de séchage. De plus, les betteraves traitées conservent mieux leurs qualités nutritionnelles et organoleptiques, avec une couleur et une texture améliorée par rapport aux échantillons non traités. Les analyses montrent également une meilleure capacité de réhydratation, rendant le produit final plus attrayant pour les consommateurs. Les auteurs soulignent l'importance de cette méthode pour l'industrie agroalimentaire, car elle offre une approche durable et efficace pour améliorer la qualité des produits séchés. Cette recherche ouvre des perspectives pour l'application de techniques similaires à d'autres légumes, visant à optimiser les processus de traitement post-récolte. En somme, l'optimisation de la déshydratation osmotique assistée par ultrasons représente une avancée significative pour le séchage des betteraves, alliant efficacité et qualité.

K.C. Graciela et al. (2023) [46] ont examiné l'utilisation de prétraitements enzymatiques pour améliorer le processus de séchage des betteraves. Les chercheurs testent différentes

enzymes, comme la pectinase et la cellulase, afin de modifier la structure cellulaire et d'optimiser l'élimination de l'humidité. Les résultats montrent que ces prétraitements enzymatiques augmentent la perméabilité des parois cellulaires, ce qui accélère le temps de séchage et améliore l'efficacité énergétique. De plus, les betteraves traitées conservent mieux leurs propriétés nutritionnelles et organoleptiques, offrant une couleur plus vive et une texture plus agréable. Les tests de réhydratation révèlent également que les betteraves prétraitées réagissent mieux, rendant le produit final plus attrayant pour les consommateurs. Les auteurs concluent que l'application de prétraitements enzymatiques pourrait révolutionner le séchage des légumes, en proposant une méthode durable et efficace. Cette approche pourrait également être appliquée à d'autres légumes, élargissant ainsi les perspectives pour l'industrie agroalimentaire.

L'article rédigé par **P. Milanović et al. (2024)** [47] analyse comment différents régimes de température et le blanchiment à l'eau chaude influencent la cinétique de séchage et la consommation d'énergie des chips de betterave rouge. Les chercheurs comparent des méthodes de séchage à deux et trois étapes, en évaluant leur efficacité par rapport à un prétraitement de blanchiment. Les résultats montrent que le blanchiment à l'eau chaude améliore la vitesse de séchage en modifiant la structure cellulaire, facilitant ainsi l'extraction de l'humidité. De plus, l'utilisation de régimes de température en plusieurs étapes permet d'optimiser le processus, réduisant le temps de séchage et la consommation d'énergie. Les chips de betterave produites présentent une qualité supérieure, avec une meilleure conservation des nutriments et une texture améliorée. Les auteurs soulignent l'importance de ces techniques pour l'industrie agroalimentaire, offrant des solutions innovantes pour optimiser la production de snacks sains.

Y. Liu et al. (2024) [48] ont exploré comment le prétraitement par congélation-dégel affecte les caractéristiques qualitatives des betteraves séchées. Les chercheurs examinent plusieurs méthodes de séchage, telles que le séchage à l'air chaud et le séchage par micro-ondes, pour évaluer leur impact sur la texture, la couleur et la valeur nutritionnelle des betteraves. Les résultats montrent que le prétraitement par congélation-dégel améliore la structure cellulaire, facilitant ainsi l'élimination de l'humidité et réduisant le temps de séchage. Les betteraves traitées affichent également une meilleure rétention des nutriments et une couleur plus vive par rapport aux échantillons non traités. En outre, les tests de texture révèlent que les betteraves prétraitées sont plus tendres, offrant une expérience sensorielle supérieure. Les auteurs concluent que le prétraitement par congélation-dégel, combiné à des méthodes de

séchage appropriées, peut considérablement améliorer la qualité des produits à base de betterave.

N. Kian-Pour et al. (2024) [49] ont examiné l'impact de plusieurs prétraitements sur les caractéristiques des chips de betterave. Les chercheurs évaluent l'effet de l'immersion dans un mélange d'éthanol et d'ultrasons, ainsi que des prétraitements par micro-ondes et blanchiment à l'amidon, sur la cinétique de séchage et les propriétés de réhydratation. Les résultats montrent que l'application de ces techniques améliore significativement la vitesse de séchage en facilitant l'élimination de l'humidité. De plus, les chips de betterave traitées présentent une meilleure capacité de réhydratation et conservent davantage de nutriments et de couleur. Les tests organoleptiques révèlent également une amélioration de la texture et du goût, rendant le produit plus attrayant pour les consommateurs. Les auteurs concluent que ces prétraitements combinés offrent une approche efficace pour optimiser la qualité des chips de betterave, tout en réduisant le temps de séchage.

La contribution **A. Kamkari et al. (2024)** [50] étudié l'impact du prétraitement par plasma froid sur l'efficacité du séchage des betteraves à l'aide d'une méthode hybride combinant micro-ondes et air chaud. Les chercheurs évaluent comment ce traitement innovant influence la cinétique de séchage, ainsi que les propriétés physiques et la microstructure du produit final. Les résultats révèlent que le prétraitement par plasma froid améliore la vitesse de séchage en modifiant la structure cellulaire, ce qui facilite l'évasion de l'humidité. De plus, les betteraves traitées présentent une texture plus favorable et une conservation accrue des nutriments. Les analyses montrent également une amélioration significative des propriétés organoleptiques, rendant le produit plus attrayant pour les consommateurs. Les auteurs concluent que l'intégration du plasma froid dans le processus de séchage hybride pourrait révolutionner les méthodes de traitement des légumes, en proposant une alternative efficace et durable.

K.C. Graciela et al. (2025) [51] ont analysé comment l'éthanol et l'acide citrique peuvent améliorer le processus de séchage de la betterave. Les chercheurs étudient l'effet de ces agents de prétraitement sur la performance de séchage et la qualité finale des betteraves. L'éthanol agit en augmentant la perméabilité des cellules, facilitant ainsi l'élimination de l'humidité, tandis que l'acide citrique contribue à préserver la couleur et les nutriments des betteraves. Les résultats montrent que les betteraves traitées avec ces substances présentent un temps de séchage réduit tout en maintenant une meilleure qualité organoleptique. De plus, ces traitements permettent de conserver davantage de vitamines et d'antioxydants, renforçant ainsi

la valeur nutritionnelle des produits séchés. Les auteurs mettent en lumière l'importance de ces méthodes pour l'industrie agroalimentaire, soulignant qu'elles peuvent non seulement améliorer la qualité des produits, mais aussi augmenter leur valeur commerciale.

Conclusion

À travers cette revue bibliographique, il apparaît que les prétraitements, qu'ils soient thermiques, chimiques ou non thermiques, jouent un rôle déterminant dans l'amélioration de la qualité des produits déshydratés. Qu'il s'agisse de fruits comme la banane, la pomme ou la fraise, ou de légumes tels que l'oignon et la betterave, chaque type de prétraitement apporte des bénéfices spécifiques, notamment en termes de réduction du temps de séchage, de préservation des nutriments et d'amélioration des propriétés organoleptiques. Les avancées technologiques, telles que l'utilisation du plasma froid, des ultrasons ou encore des micro-ondes, offrent des perspectives intéressantes pour l'optimisation des procédés. Par ailleurs, les herbes médicinales, telles que le romarin et la menthe, bénéficient également de méthodes de séchage innovantes qui permettent de conserver leurs propriétés bioactives. Ainsi, l'intégration de ces techniques dans les procédés industriels représente un levier majeur pour la valorisation des produits agricoles, en répondant aux exigences croissantes de qualité, de sécurité et de durabilité.

Références bibliographiques

- [1]. R. Dandamrongrak, R. Mason, G. Young, The effect of pretreatments on the drying rate and quality of dried bananas, *International Journal of Food Science and Technology*, 38 (2003) 877–882.
- [2]. S. Prachayawarakorn, W. Tia, N. Plyto, S. Soponronnarit, Drying kinetics and quality attributes of low-fat banana slices dried at high temperature, *Journal of Food Engineering*, 85 (2008) 509–517.
- [3]. E.E. Abano, L.K. Sam-Amoah, Effects of different pre-treatments on drying characteristics of banana slices, *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 6 (2011) 121–129.

- [4]. L.A. Adepoju, Z.D. Osunde, Quality of Dried Banana Fruit Under Different Pretreatments and Drying Methods, *Australian Journal of Engineering Research SCIE Journals*, (2011).
- [5]. P. Jeet, G. Immanuel, O. Prakash, Effects of blanching on the dehydration characteristics of unripe banana slices dried at different temperature, *Agric Eng Int: CIGR Journal*,17 (2015) 168–175.
- [6]. F. Sarpong, X. Yu, C. Zhou, Y. Hongpeng, B.B. Uzoejinwa, J. Bai, B. Wu, H. Ma, Influence of anti-browning agent pretreatment on drying kinetics, enzymes inactivation and other qualities of dried banana (*Musa ssp.*) under relative humidity-convective air dryer, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12 (2018) 1229–1241.
- [7]. F.N. Dehsheikh, S.T. Dinani, Coating pretreatment of banana slices using carboxymethyl cellulose in an ultrasonic system before convective drying, *Ultrasonics Sonochemistry*, 52 (2019) 401-413.
- [8]. A.H. Soomro, T.F. Miano, A. Marri, D. Kumar, S. Gul Khaskheli, U.F. Arain, A.B. Baloch, Application of Pretreatments on Banana Slices for Improving Drying Characteristics, *Food Science and Quality Management*,103 (2020) 2224–6088.
- [9]. R. Ghorani, M. Noshad, B.A. Behbahani, Effects of aerosolized citric acid–radio frequency as a pretreatment on hot-air drying characteristics of banana, *Food Science and Nutrition*, 9 (2021) 6382–6388.
- [10]. V.P. Nguyen, H.X.N. Tran, T.L.K. Phan, Effect of pre-treatments on qualities and storage life of banana dried by using solar dryer dome, *Earth and Environmental Science*, 1155 (2023) 012020.
- [11]. G.G. Abd El-Wahhab, H.A.A. Sayed, M.A. Abdelhamid, Azeglio, A. Nasr, A. Nagib, M. Boruah, A.M. Abd-El Gawad, Y.M. Rashad, M. Hafez, I.M. Taha, Effect of Pretreatments on the Qualities of Banana Dried by Two Different Drying Methods, *Sustainability*,15 (2023) 15112.
- [12]. A. Roman-Chipantiza, A. Boubertakh, J. Carballo, Banana Drying: A Review on Methods and Advances, *Food Reviews International*, 40 (2023) 2188–2226.
- [13]. T. Kağan Tepe, Enhancement of Convective Banana Drying: Effect of Ethanol Pretreatment on Drying Characteristics, Color Properties, Shrinkage Ratio and Comparison of Artificial Neural Network and Thin Layer Modeling, *The Black Sea Journal of Sciences*,13 (2023) 1738–1758.
- [14]. Y. Fu, Y. Ren, D. Sun, Impacts of non-thermal pretreatments on banana slices during microwave vacuum dehydration using THz-TDS and NIR-HSI techniques, *Journal of Food Engineering*, 394 (2025) 112518.
- [15]. K.J. Mothibe, M. Zhang, A.S. Mujumdar, Y.C. Wang, X. Cheng, Effects of Ultrasound and Microwave Pretreatments of Apple Before Spouted Bed Drying on Rate of Dehydration and Physical Properties, *Drying Technology: An International Journal*, 32 (2014) 1848–1856.
- [16]. H.O. Wang, H.O. Wang, S.J. Chen, Q.Q. Fu, R.R. Wang, W. Zhang, L.L. Chen, J.Y. Wu, Effect of different pretreatments on the vacuum-freezing characteristics of apple slices, *Modern Food Science and Technology*, 11 (2016) 13982.
- [17]. X. Shen, M. Zhang, B. Bhandari, Z. Guo, Effect of ultrasound dielectric pretreatment on the oxidation resistance of vacuum-fried apple chips, *The Science of Food and Agriculture*, 98 (2018) 4436–4444.

- [18]. X. Li, J. Bi, Q. Chen, X. Jin, X. Wu, M. Zhou, Texture improvement and deformation inhibition of hot air-dried apple cubes via osmotic pretreatment coupled with instant control pressure drop (DIC), *Food Science and Technology*, 101 (2019) 351–359.
- [19]. S.R. Shewale, D. Rajoriya, H. Umesh Hebbar, Low humidity air drying of apple slices: Effect of EMR pretreatment on mass transfer parameters, energy efficiency and quality, *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 55 (2019) 1–10.
- [20]. R. Zhu, S. Jiang, D. Li, C. Lim Law, Y. Han, Y. Tao, H. Kiani, D. Liu, Dehydration of apple slices by sequential drying pretreatments and airborne ultrasound-assisted air drying: Study on mass transfer, profiles of phenolics and organic acids and PPO activity, *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 75 (2022) 102871.
- [21]. J. Wang, Y. Chen, H. Wang, S. Wang, Z. Lin, L. Zhao, H. Xu, Ethanol and blanching pretreatments change the moisture transfer and physicochemical properties of apple slices via microstructure and cell-wall polysaccharides nanostructure modification, *Food Chemistry*, 381 (2022) 132274.
- [22]. N. Çetin, C. Sağlam, Effects of ultrasound pretreatment-assisted drying methods on drying characteristics, physical and bioactive properties of windfall apples, *The Science of Food and Agriculture*, 103 (2022) 534–547.
- [23]. K. Kriaa, A.F. Nassar, Comparative study of pretreatment on microwave drying of Gala apples (*Malus pumila*): Effect of blanching, electric field and freezing, *Food Science and Technology*, 165 (2022) 113693.
- [24]. Z. Lin, Z. Geng, W. Liang, H. Zhu, J. Ye, J. Wang, H. Xu, Steam blanching and ethanol pretreatment enhance drying rates and improve the quality attributes of apple slices via microstructure modification, *Food Processing and Preservation*, 46 (2022) e17256.
- [25]. J. Bai, L. Zhang, J.H. Aheto, J. Cai, Y. Wang, L. Sun, X. Tian, Effects of different pretreatment methods on drying kinetics, three-dimensional deformation, quality characteristics and microstructure of dried apple slices, *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 83 (2023) 103216.
- [26]. K. Subrahmanyam, K. Gul, S. Paridala, R. Sehwat, K. Sanjay More, M. Dwivedi, S. Jaddu, Effect of cold plasma pretreatment on drying kinetics and quality attributes of apple slices in Refractance window drying, *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 92 (2024) 103594.
- [27]. A. Thakur, R. Sharma, D. Vaidya, N. Sharma, D. Thakur, R. Suhag, Effect of Slice Thickness and Pretreatments on the Quality of Dried Apple Slices (*Golden Delicious*), *Journal of Food Biochemistry*, 10 (2024) 1711150.
- [28]. J. Garcia-Noguera, F.I.P. Oliveira, M. Gallao, C.L. Weller, S. Rodrigues, F.A.N. Fernandes, Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration of Strawberries: Effect of Pretreatment Time and Ultrasonic Frequency, *Drying Technology*, 28 (2010) 249–303.
- [29]. L.H. Zhang, L. Liao, C. Wang, K.J. An, Y. Qiao, Effects of ultrasonic and osmotic pretreatment on quality and antioxidant activity of dried strawberry slices, *Modern Food Science and Technology*, 34 (2018) 196–203.
- [30]. L. Zhang, L. Liao, Y. Qiao, C. Wang, D. Shi, K. An, J. Hu, Effects of ultrahigh pressure and ultrasound pretreatments on properties of strawberry chips prepared by vacuum-freeze drying, *Food Chemistry*, 303 (2021) 125386.

- [31]. L. Zhang, Y. Qiao, C. Wang, L. Liao, D. Shi, K. An, J. Hu, J. Wang, L. Shi, Influence of high hydrostatic pressure pretreatment on properties of vacuum-freeze dried strawberry slices, *Food Chemistry*, 331 (2020) 127203.
- [32]. J. Jiang, M. Zhang, S. Devahastin, D. Yu, Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatments on drying and quality characteristics of pulsed fluidized bed microwave freeze-dried strawberries, *Food Science and Technology*, 145 (2021) 111300.
- [33]. C. Wang, L. Zhang, Y. Qiao, L. Liao, D. Shi, J. Wang, L. Shi, Effects of ultrasound and ultrahigh-pressure pretreatments on volatile and taste compounds of vacuum-freeze dried strawberry slice, *Food Science and Technology*, 160 (2022) 113232.
- [34]. B. Biernacka, D. Dziki, S. Rudy, A. Krzykowski, R. Polak, L. Dziki, Influence of Pretreatments and Freeze-Drying Conditions of Strawberries on Drying Kinetics and Physicochemical Properties, *Processes*, 10 (2022) 1588.
- [35]. D. Jiang, Q. Wang, C. Huang, Effect of various different pretreatment methods on infrared combined hot air impingement drying behavior and physicochemical properties of strawberry slices, *Food Chemistry X*, 22 (2024) 101299.
- [36]. L. Mendez, J. Rodriguez Ramírez, S. Sandoval Torres, J. Barragán-Iglesias, L.O. Anabel, Strawberry fluidized bed drying. Antiadhesion pretreatments and their effect on bioactive compounds, *Applied Food Research*, 5 (2025) 100739.
- [37]. K.J. Mothibe, M. Zhang, A.S. Mujumdar, Y.C. Wang, X. Cheng, Effects of Ultrasound and Microwave Pretreatments of Apple Before Spouted Bed Drying on Rate of Dehydration and Physical Properties, *Drying Technology: An International Journal*, 32 (2014) 1848–1856.
- [38]. J. Garcia-Noguera, F.I.P. Oliveira, M. Gallao, C.L. Weller, S. Rodrigues, F.A.N. Fernandes, Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration of Strawberries: Effect of Pretreatment Time and Ultrasonic Frequency, *Drying Technology*, 28 (2010) 249–303.
- [39]. L.H. Zhang, L. Liao, C. Wang, K.J. An, Y. Qiao, Effects of ultrasonic and osmotic pretreatment on quality and antioxidant activity of dried strawberry slices, *Modern Food Science and Technology*, 34 (2018) 196–203.
- [40]. L. Zhang, L. Liao, Y. Qiao, C. Wang, D. Shi, K. An, J. Hu, Effects of ultrahigh pressure and ultrasound pretreatments on properties of strawberry chips prepared by vacuum-freeze drying, *Food Chemistry*, 303 (2021) 125386.
- [41]. L. Zhang, Y. Qiao, C. Wang, L. Liao, D. Shi, K. An, J. Hu, J. Wang, L. Shi, Influence of high hydrostatic pressure pretreatment on properties of vacuum-freeze dried strawberry slices, *Food Chemistry*, 331 (2020) 127203.
- [42]. J. Jiang, M. Zhang, S. Devahastin, D. Yu, Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatments on drying and quality characteristics of pulsed fluidized bed microwave freeze-dried strawberries, *Food Science and Technology*, 145 (2021) 111300.
- [43]. C. Wang, L. Zhang, Y. Qiao, L. Liao, D. Shi, J. Wang, L. Shi, Effects of ultrasound and ultrahigh-pressure pretreatments on volatile and taste compounds of vacuum-freeze dried strawberry slice, *Food Science and Technology*, 160 (2022) 113232.
- [44]. B. Biernacka, D. Dziki, S. Rudy, A. Krzykowski, R. Polak, L. Dziki, Influence of Pretreatments and Freeze-Drying Conditions of Strawberries on Drying Kinetics and Physicochemical Properties, *Processes*, 10 (2022) 1588.

-
- [45]. D. Jiang, Q. Wang, C. Huang, Effect of various different pretreatment methods on infrared combined hot air impingement drying behavior and physicochemical properties of strawberry slices, *Food Chemistry X*, 22 (2024) 101299.
- [46]. K.S. Hidangmayum, N.R Swami Hulle, P.S. Rao, Effect of high-pressure pretreatment on the drying characteristics of the beetroot (*Beta vulgaris*) cubes, *Journal of Agriculture and Food Research*, 11(2022) 100493.
- [47]. H. Memis, F. Bekar, C. Guler, A. Kamiloğlu, N.K. Kantar, Optimization of ultrasonic-assisted osmotic dehydration as a pretreatment for microwave drying of beetroot (*Beta vulgaris*), *Food Science and Technology International*, 30 (2023) 439–449.
- [48]. K.C. Graciela, B.R Costa, V. Sant’Anna, M. Poletto Klein, K. de Moraes, Enzymatic pretreatment for the enhancement of beetroot drying process, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 58 (2023) e03352.
- [49]. P. Milanović, T. Urošević, O. Ećim-Đurić, Influence of two-and three-stage temperature regimes and hot-water blanching pretreatment on red beetroot chips drying kinetics and energy consumption, (2024) 139–144.
- [50]. Y. Liu, A. Helikh, A. Filon, X. Tang, Z. Duan, A. Ren, Beetroot (*Beta vulgaris* L. var. *conditiva* Alef.) Pretreated by Freeze-Thaw: Influence of Drying Methods on the Quality Characteristics, *Journal of Food*, 22 (2024) 1–12.
- [51]. N. Kian-Pour, T. Ceyhan, D. Ozmen, O.S. Toker, Effect of ultrasound-ethanol immersion, microwave and starch-blanching pretreatments on drying kinetics, rehydration, and quality properties of beetroot chips, *International Journal of Food Engineering*, 22 (2024) 85–99.

CHAPITRE III : MATÉRIELS ET MÉTHODES

Introduction

Le chapitre III expose les protocoles expérimentaux et les méthodologies employés pour analyser l'influence des prétraitements sur le séchage et la qualité des fruits et légumes sélectionnés (fraises, pommes, bananes, oignons et betteraves). Les conditions opératoires ainsi que les paramètres contrôlés (température, concentration des solutions, durée d'immersion) y sont précisément décrites. Par ailleurs, les outils analytiques mobilisés pour évaluer la cinétique de séchage, les propriétés physico-chimiques et la qualité microbiologique des produits sont présentés. Les démarches méthodologiques reposent sur des normes internationales (ISO, AOAC) et des modèles mathématiques validés, garantissant une analyse rigoureuse et reproductible des données.

III. 1. Prétraitement

III. 1.1. Prétraitement des frais

III. 1.1.1. Généralité sur les frais

La fraise est un fruit rouge, juteux et sucré, appartenant à la famille des Rosacées. Elle est souvent consommée crue, en desserts, ou utilisée dans des confitures. La fraise est riche en vitamines, en particulier la vitamine C, et contient des antioxydants bénéfiques pour la santé. Sa saison de récolte se situe généralement au printemps et en été. [1]



Figure III. 1. Caractéristiques morphologique de la fraise utilisée dans les expériences. [1]

III. 1.1.2. Conditions opératoires de prétraitement des fraises

Après avoir réalisé l'étude bibliographique et examiné les conditions utilisées dans les prétraitements de la fraise, nous avons sélectionné les prétraitements à tester, en faisant varier la concentration et la durée d'immersion. Ces prétraitements sont résumés dans la figure suivante :



Immersion dans une solution de glucose à 13 % pendant 45 minutes à température ambiante.



Blanchiment à l'eau chaude à 80 °C pendant 3 minutes, suivi d'un refroidissement à l'eau froide.



Immersion dans une solution de saccharose à 13 % pendant 30 minutes à température ambiante.



Immersion dans une solution de NaCl à 8 % pendant 20 minutes à température ambiante.



Immersion dans une solution de CaCl_2 à 12 % pendant 20 minutes à température ambiante.



Immersion dans une solution d'acide citrique à 0,5 % pendant 8 minutes à température ambiante.

Figure III. 2. Conditions opératoires de prétraitement appliquées aux fraises lors de la première étape du procédé.

Après avoir obtenu les résultats de l'étape 01, nous avons d'abord sélectionné les meilleurs prétraitements. Ensuite, nous avons fait varier (augmentation ou diminution) la concentration et la durée d'immersion pour chaque prétraitement. Ces conditions expérimentales sont résumées dans la figure suivante :



Immersion dans une solution de glucose à 6,5 % pendant 15 minutes à température ambiante.



Immersion dans une solution de saccharose à 6,5 % pendant 15 minutes à température ambiante.



Immersion dans une solution de NaCl à 6 % pendant 10 minutes à température ambiante.



Immersion dans une solution de CaCl₂ à 8 % pendant 10 minutes à température ambiante.



Immersion dans une solution d'acide citrique à 0,25 % pendant 4 minutes à température ambiante.

Figure III. 3. Conditions opératoires de prétraitement appliquées aux fraises lors de la première étape du procédé.

D'après les résultats de la deuxième étape, les trois meilleurs prétraitements ont été sélectionnés. Pour chacun d'eux, soit la concentration a été maintenue constante tandis que la durée d'immersion variait, soit la durée d'immersion a été fixée et la concentration ajustée. Ces conditions expérimentales sont résumées dans la figure III.4.



Immersion dans une solution de glucose à 6,5 % pendant 7 minutes à température ambiante.



Immersion dans une solution de glucose à 3,25 % pendant 15 minutes à température ambiante.



Immersion dans une solution de saccharose à 6,5 % pendant 7 minutes à température ambiante.

Immersion dans une solution de saccharose à 3,25 % pendant 15 minutes à température ambiante.



Immersion dans une solution d'acide citrique à 0,25 % pendant 2 minutes à température ambiante.



Immersion dans une solution d'acide citrique à 0,125 % pendant 4 minutes à température ambiante.

Figure III. 4. Conditions opératoires de prétraitement appliquées aux fraises lors de la troisième étape du procédé.

III. 1.2. Prétraitement de la pomme

III. 1.2.1. Généralité sur la pomme

La pomme est un fruit comestible, généralement rond, qui pousse sur le pommier. Elle a une peau lisse et peut être rouge, verte ou jaune. La chair est juteuse et sucrée, avec un goût qui peut varier de doux à acide. Les pommes sont riches en vitamines, fibres et antioxydants, ce qui les rend bénéfiques pour la santé. Elles peuvent être consommées crues, cuites, ou utilisées dans divers plats et desserts. [2]



Figure III. 5. Caractéristiques morphologiques de la Pomme utilisées dans les expériences. [2]

III. 1.2.2. Les conditions opératoires du prétraitement de la pomme

À la suite d'une étude bibliographique et après analyse des conditions de prétraitement appliquées à la pomme, plusieurs prétraitements ont été sélectionnés. Les paramètres opératoires ont été modifiés, et leurs différentes combinaisons sont synthétisées dans la figure III.6.



Blanchiment à l'eau chaude à 80 °C pendant 3 minutes, suivi d'un refroidissement à température ambiante.



Blanchiment à vapeur pendant 3 min à une température ambiante.



Immersion dans une solution de glucose à 20 % pendant 15 min à une température ambiante.



Immersion dans une solution d'acide citrique de concentration 0,5% pendant 10 min à une température ambiante.



Immersion dans une solution de NaCl à 2% pendant 10 min à une température ambiante.



Immersion dans une solution de CaCl_2 à 2% pendant 10 min à une température ambiante.



Immersion dans une solution de saccharose à 20 % pendant 15 min à une température ambiante



Immersion dans une solution acide ascorbique à 20 % pendant 10 min à une température ambiante.

Figure III. 6. Conditions opératoires de prétraitement appliquées aux pommes lors de la première étape du procédé.

Sur la base des résultats obtenus lors de l'étape 1 et dans l'objectif d'optimiser la qualité des produits séchés, deux actions successives ont été réalisées : premièrement, la sélection des prétraitements les plus efficaces identifiés lors de la phase initiale ; deuxièmement, la variation systématique des paramètres opératoires pour chacun de ces prétraitements. L'ensemble de ces conditions expérimentales est présenté dans la figure suivante :



Immersion dans une solution NaCl de concentration 1 % pendant 10 min à une température ambiante



Immersion dans une solution CaCl_2 de concentration 1 % pendant 10 min à une température ambiante.



Immersion dans une solution acide citrique de concentration 0,25 % pendant 10 minutes à une température ambiante

Immersion dans une solution acide ascorbique de concentration 10 % pendant 10 minutes à une température ambiante.

Figure III. 7. Conditions opératoires de prétraitement appliquées aux pommes lors de la deuxième étape du procédé.

III. 1.3. Prétraitement de banane

III. 1.3. 1. Généralité sur la Banane

La banane est un fruit comestible, généralement de forme allongée et courbée, appartenant à la famille des musacées. Elle est riche en potassium, en vitamines et en fibres. La peau est jaune à maturité, bien que certaines variétés soient rouges ou vertes. Les bananes sont souvent consommées crues, mais elles peuvent également être utilisées dans des desserts, des smoothies et d'autres plats. [3]



Figure III. 8. Caractéristiques morphologique de la Banane utilisée dans notre étude. [3]

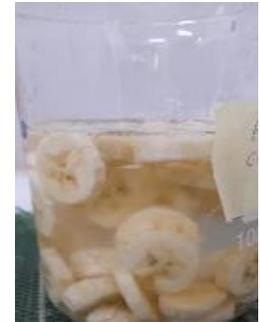
III. 1.3.2. Conditions opératoires de prétraitement de la banane

Une revue approfondie de la littérature scientifique a été menée afin d'identifier les protocoles de prétraitement les plus couramment appliqués à la banane. Sur cette base, une sélection raisonnée des prétraitements les plus pertinents a été effectuée, prenant en compte leur efficacité démontrée et leur faisabilité technique. Pour chaque traitement retenu, une étude paramétrique a ensuite été conduite en faisant varier systématiquement : (i) la concentration des solutions actives, (ii) le temps d'immersion des échantillons, et (iii) la température d'application. Cette approche méthodologique permet d'évaluer l'influence de

chaque facteur et leurs interactions potentielles sur l'efficacité du prétraitement. L'ensemble des combinaisons testées, représentant le plan expérimental complet est présenté dans la figure III.8, offrant ainsi une vision claire et systématique des conditions opératoires évaluées.



Blanchiment à l'eau chaude de $T=90\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant 3 min, puis Blanchiment à l'eau froide pendant 3 minutes.



Immersion dans une solution d'acide citrique à 2 % pendant 5 minutes à une température ambiante.



Immersion dans une solution d'acide ascorbique à 5 % pendant 15 min à une température ambiante



Immersion dans une solution de glucose à 15 % pendant 15 min à une température ambiante



Immersion dans une solution de saccharose à 15 % pendant 15 min à une température ambiante



Immersion dans une solution de NaCl à 2% pendant 10 min à une température ambiante.



Immersion dans une solution d CaCl_2 à concentration 2% pendant 10 min à une



Immersion dans une solution de mélange d'acide citrique à 2% et saccharose à 15% :

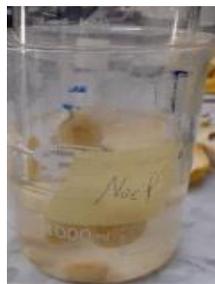
température ambiante

pendant 10 min à une température ambiante.

Figure III. 9. Illustrations des différentes conditions opératoires de prétraitement appliquées aux bananes lors de la première étape.

À partir des résultats de l'étape 1 visant l'optimisation de la qualité des produits séchés, une méthodologie en deux phases a été mise en œuvre :

- ✓ L'identification et la sélection des protocoles de prétraitement présentant les meilleures performances lors des essais préliminaires ;
- ✓ L'exploration systématique des paramètres opératoires (concentration, durée, température) pour chaque prétraitement sélectionné.



Immersion dans une solution de NaCl à 3% pendant 5 min à une température ambiante



Immersion dans une solution CaCl_2 à 2% pendant 5 min à une température ambiante.



Immersion dans d'acide citrique à 1% pendant 5 min à une température ambiante



Immersion dans d'acide citrique à 3% pendant 5 min à une température ambiante.



Immersion dans une solution de mélange d'acide citrique à 1 % et saccharose à 15%, à 8 min à une température ambiante.



Immersion dans solution de mélange d'acide citrique à 2 % et CaCl_2 2% à 5 min à une température ambiante.

Figure III. 10. Illustrations des différentes conditions opératoires de prétraitement appliquées aux bananes lors de la deuxième étape.

III. 1.4. Prétraitement d'Oignon

III.2.4.1. Généralité sur l'oignon

L'oignon est un légume bulbeux qui pousse sous terre. Il a une peau fine, généralement de couleur brune, blanche ou rouge, et une chair juteuse et croquante. L'oignon a un goût fort et piquant, qui devient plus doux lorsqu'il est cuit. Il est couramment utilisé pour rehausser la saveur des plats dans de nombreuses cuisines. En plus d'ajouter du goût, l'oignon est riche en vitamines et en antioxydants, ce qui le rend bénéfique pour la santé. [4]



Figure III. 11. Caractéristiques morphologique de l'oignon utilisé dans les expériences de prétraitement. [4]

III.2.4.2. Les conditions opératoires de prétraitement de l'oignon

Après faire l'étude bibliographique et voir les conditions utilisées dans les prétraitements d'oignon, on sélectionne les prétraitements et on varie la concentration et la durée d'immersion et on résume ces prétraitements dans le tableau suivant :



Immersion dans une solution d'acide citrique à 3% pendant 10 minutes.



Immersion dans une solution d'acide ascorbique à 3% pendant 10 minutes à une température ambiante.



Immersion dans une solution de NaCl à 5% pendant 15 min à une température ambiante.



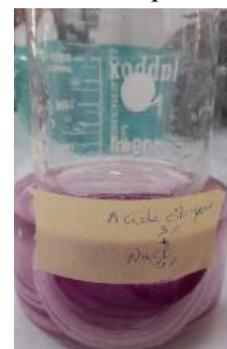
Immersion dans une solution de CaCl₂ à 5% pendant 15 min à une température ambiante.



Immersion dans une solution mélange d'acide citrique à 3% et CaCl₂ 5% pendant 15 minutes à une température ambiante.



Immersion dans une solution d'acide ascorbique de concentration 3% et 5% CaCl₂ pendant 15 minutes à une température ambiante.



Immersion dans une solution mélange d'acide citrique à 3% et à 5% NaCl pendant 15 min à une température ambiante.

Figure III. 12. Illustrations des différentes conditions opératoires de prétraitement appliquées aux oignons.

III.2.5. Prétraitement de betterave

III.2.5.1. Généralité sur la betterave

La betterave est un légume-racine comestible, généralement de couleur rouge foncé ou violette. Elle a une forme arrondie et une chair sucrée et juteuse. La betterave est souvent utilisée dans les salades, les soupes et les plats cuisinés. Elle est riche en vitamines, minéraux et antioxydants, et est connue pour ses bienfaits pour la santé, notamment pour la circulation

sanguine. Les feuilles de betterave, appelées bettes, sont également comestibles et nutritives. [5]



Figure III. 13. Caractéristiques morphologique de Betterave utilisées dans les expériences. [5]

III.2.5.2. Les conditions opératoires de prétraitement de la Betterave

Après avoir réalisé une étude bibliographique sur les conditions de prétraitement appliquées à la betterave, nous avons sélectionné les prétraitements appropriés en faisant varier la concentration et la durée d'immersion. Ces prétraitements sont résumés dans le tableau suivant :



Immersion dans une solution d'acide citrique à 3% pendant 10 minutes à une température ambiante.



Immersion dans une solution de saccharose à 20 % pendant 15 min à une température ambiante.



Blanchiment à vapeur pendant 10 minutes.



Immersion dans une solution de CaCl_2 à 2% pendant 10 minutes à une température ambiante.



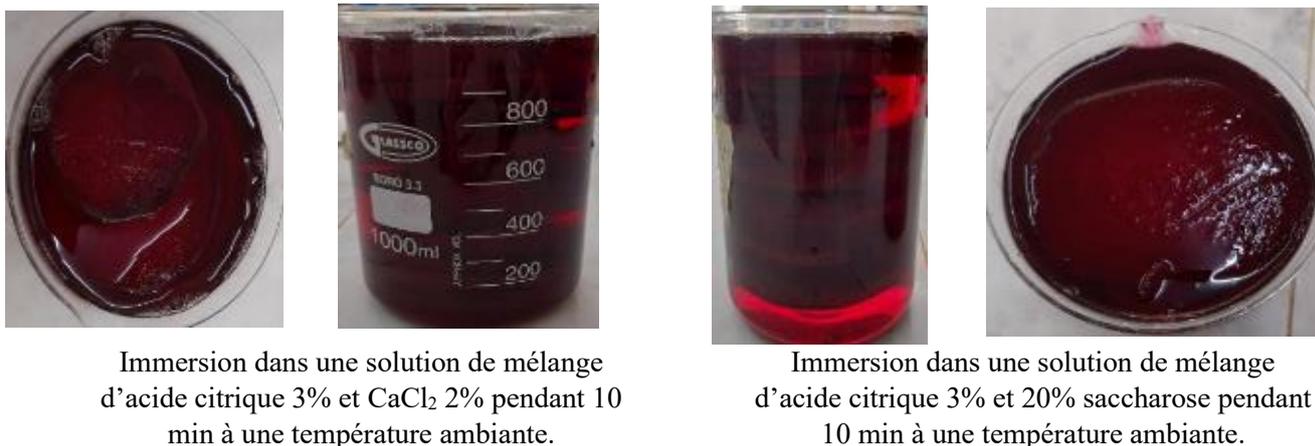


Figure III. 14. Illustrations des différentes conditions opératoires de prétraitement appliquées aux betteraves.

L'ensemble des prétraitements peut être résumés comme suit:

- Pour la fraise

Tableau III. 1. Le Tableaux suivant représenter les conditions opératoires de prétraitement appliquées aux fraises lors de la première étape du procédé :

N°	Prétraitements	C (g/mol)	T(C°)	t (min)
1	Immersion dans une solution de glucose	13%	-	45 min
2	Blanchiment à l'eau chaude	-	80C°	3 min
3	Immersion dans une solution de saccharose	13%	-	30 min
4	Immersion dans une solution de chlorure de sodium	8%	-	20 min
5	Immersion dans une solution de chlorure de calcium	12%	-	20 min
6	Immersion dans une solution d'acide citrique	0.5%	-	8 min

Tableau III. 2. Le Tableaux suivant représenter les conditions opératoires de prétraitement appliquées aux fraises lors de la deuxième étape du procédé

N°	Prétraitements	C (g/mol)	T(C°)	t (min)
1	Immersion dans une solution de glucose	6.5%	-	15 min
2	Immersion dans une solution de	6.5%	-	15 min

	saccharose			
3	Immersion dans une solution de Chlorure de sodium	6%	-	10 min
4	Immersion dans une solution de Chlorure de calcium	8%	-	10 min
5	Immersion dans une solution d'acide citrique	0.25%	-	4 min

Tableau III. 3. Le Tableaux suivant représenter les Conditions opératoires de prétraitement appliquées aux fraises lors de la troisième étape du procédé

N°	Prétraitements	C (g/mol)	T(C°)	t (min)
1	Immersion dans une solution de glucose	6.5%	-	7 min
2	Immersion dans une solution de glucose	3.25%	-	15 min
3	Immersion dans une solution de saccharose	6.5%	-	7 min
4	Immersion dans une solution de saccharose	6.5%	-	15 min
5	Immersion dans une solution d'acide citrique	0.25%	-	2 min
6	Immersion dans une solution d'acide citrique	0.125%	-	4 min

- Pour la pomme

Tableau III. 4. Le Tableau représenter les conditions opératoires de prétraitement appliquées aux pommes lors de la première étape du procédé.

N°	Prétraitements	C (g/mol)	T(C°)	t (min)
1	Blanchiment à l'eau chaude	-	80C°	3 min
2	Blanchiment à vapeur	-	-	3 min
3	Immersion dans une solution de glucose	20%	-	15 min
4	Immersion dans une solution d'acide citrique	0.5%	-	10 min
5	Immersion dans une solution de chlorure de sodium	2%	-	10 min
6	Immersion dans une solution de chlorure	2%	-	10 min

	de calcium			
7	Immersion dans une solution de saccharose	20%	-	15 min
8	Immersion dans une solution d'acide ascorbique	20%	-	10 min

Tableau III. 5. Le Tableau représenter les conditions opératoires de prétraitement appliquées aux pommes lors de la deuxième étape du procédé

N°	Prétraitements	C (g/mol)	T(C°)	t (min)
1	Immersion dans une solution de chlorure de sodium	1%	-	10 min
2	Immersion dans une solution de chlorure de calcium	1%	-	10 min
3	Immersion dans une solution d'acide citrique	0.5%	-	10 min
4	Immersion dans une solution d'acide ascorbique	1%	-	10 min

- Pour la banane

Tableau III. 6. Le Tableau représenter les conditions opératoires de prétraitement appliquées aux bananes lors de la première étape du procédé

N°	Prétraitements	C (g/mol)	T(C°)	t (min)
1	Blanchiment à l'eau vapeur	-	90C°	3 min
2	Immersion dans une solution d'acide citrique	2%	-	5 min
3	Immersion dans une solution d'acide ascorbique	5%	-	15 min
4	Immersion dans une solution de glucose	15%	-	15 min
5	Immersion dans une solution de saccharose	15%	-	15 min
6	Immersion dans une solution de chlorure de sodium	2%	-	10 min
7	Immersion dans une solution de chlorure de calcium	2%	-	10 min
8	Immersion dans une solution de mélange	A.citrique 2%	-	10 min

	d'acide citrique et saccharose	Saccharose 15%		
--	--------------------------------	----------------	--	--

Tableau III. 7. Le Tableau représenter les conditions opératoires de prétraitement appliquées aux bananes lors de la deuxième étape du procédé

N°	Prétraitements	C (g/mol)	T(C°)	t (min)
1	Immersion dans une solution de chlorure de sodium	3%	-	5 min
2	Immersion dans une solution de chlorure de calcium	2%	-	5 min
3	Immersion dans une solution d'acide citrique	1%	-	5 min
4	Immersion dans une solution d'acide citrique	3%	-	5 min
5	Immersion dans une solution de mélange d'acide citrique et saccharose	A.citrique 1% Saccharose 15%	-	8 min
6	Immersion dans une solution de mélange d'acide citrique et Chlorure de calcium	A.citrique 2% CaCl ₂ 2%	-	5 min

- Pour l'oignon

Tableau III. 8. Le Tableau représenter les conditions opératoires de prétraitement appliquées aux oignons.

N°	Prétraitements	C (g/mol)	T(C°)	t (min)
1	Immersion dans une solution d'acide citrique	3 %	-	10 min
2	Immersion dans une solution d'acide ascorbique	3%	-	10 min
3	Immersion dans une solution de chlorure de sodium	5%	-	15 min
4	Immersion dans une solution de chlorure de calcium	5%	-	15 min
5	Immersion dans une solution de mélange d'acide citrique et chlorure de calcium	A.citrique 3% CaCl ₂ 5%	-	15 min
6	Immersion dans une solution de mélange d'acide ascorbique et chlorure de calcium	A.ascrobique 3% CaCl ₂ 5%	-	15 min

7	Immersion dans une solution de mélange d'acide citrique et chlorure de sodium	A.citrique 3% NaCl 5%		15 min
---	---	--------------------------	--	--------

- Pour la betterave

Tableau III. 9. Le Tableau représenter les conditions opératoires de prétraitement appliquées aux betteraves.

N°	Prétraitements	C (g/mol)	T(C°)	t (min)
1	Blanchiment à vapeur	-	-	10 min
2	Immersion dans une solution d'acide citrique	3 %		10 min
3	Immersion dans une solution de saccharose	20%	-	15 min
4	Immersion dans une solution de chlorure de calcium	2%	-	10 min
5	Immersion dans une solution de mélange d'acide citrique et chlorure de calcium	A.citrique 3% CaCl ₂ 2%	-	10 min
6	Immersion dans une solution de mélange d'acide citrique et saccharose	A.citrique 3% Saacharose 20%		10 min

III. 2. Séchage

Le processus de séchage a été réalisé selon le protocole suivant : après préparation des tranches de fruits et légumes, celles-ci ont été disposées en couche uniforme sur des plateaux perforés, puis introduites dans un séchoir solaire indirect. Les paramètres de séchage ont été maintenus dans une plage thermique entre 40 °C et 50 °C. La durée totale d'opération, variable selon la nature du produit traité et les conditions climatiques ambiantes.



Figure III. 15. Séchoir indirect utilisé dans notre expériences.



Fraise



Betterave



Pomme



Banane

Figure III. 16 Tranches de fraise, pomme, banane, oignon et betterave placées dans les séchoirs indirects de la plateforme expérimentale de l'URAER

III. 3. Calcule la teneur en eau initiale

La teneur en eau initial à base humide (W_0) est calculée selon la formule suivante :

$$W_0 = \frac{mw}{mh} \times 100 = \frac{(mh - ms)}{mh} \times 100 \quad (III.1)$$

Avec :

- W_0 = expression de la teneur en eau en %.
- m_w = masse d'eau évaporée (g).
- m_s = masse du matériau sec (g).
- m_h = masse du matériau humide (g).

La teneur en eau initiale a été déterminée pour l'ensemble des produits étudiés, comprenant les fraises, la pomme, la banane, l'oignon et la betterave, afin d'établir une base de référence pour les études ultérieures. Pour calculer la teneur en eau initiale pour les produits étudiés, prenons l'exemple des pommes.

Pour de déterminer la teneur en eau initiale, nous avons suivi les étapes suivantes :



A. Nous avons pesé trois échantillons de de la pomme.



B. Les échantillons ont été insérés dans une étuve à une température de 105 °C pendant 24 heures.



C. Les échantillons ont été placés dans un dessiccateur sous vide pendant 10 minutes pour permettre un refroidissement modéré.



D. Le poids des échantillons a été mesuré (M_s). Une fois les masses avant et après le séchage obtenu, la teneur en eau initiale est calculée en utilisant la relation (III.1).

Figure III. 17. Illustrations des différentes étapes expérimentales de la détermination de la teneur en eau initiale des tranches de pomme.

III. 4. La cinétique de séchage

Les étapes classiques pour étudier la cinétique de séchage de différents produits (fraises, pommes, bananes, oignons et betteraves) sont illustrées dans la figure III.18. À titre d'exemple, nous détaillerons ici la méthodologie appliquée aux bananes :



On mesure la matière humide et fraîche (banane) pour connu la masse primaire.



Nous avons coupé le banane à des tranches et mettons dans des solutions pour les prétraitements.



Après les prétraitements on place les tranches de banane dans des plateaux perforés



On place les pannées dans le séchoir solaire indirect sans stockage pour les sèches



Enregistrement régulier de la masse des échantillons au cours du temps, mesure de la perte de masse à intervalles réguliers jusqu'à équilibre et calcul de la teneur en eau (X) en fonction du temps.

Figure III. 18. Illustrations des étapes suivis pour déterminer la cinétique de séchage des bananes.

La teneur a base sèche (g d'eau/g de solide sec) de l'échantillon (M) est calculée par l'équation suivante :

$$X = \frac{m_h - m_s}{m_s} \quad (\text{III. 2})$$

Où m_h est la masse de l'échantillon à l'instant t et m_s est la masse du solide sec.

La teneur en humidité doit impérativement être identique pour tous les échantillons de la mesure de base, en raison des différences naturelles et inhérentes à leur teneur initiale en humidité. Par conséquent, le taux d'humidité (TR) est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{XR} = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad (\text{III. 3})$$

Où X_t , X_e et X_0 sont respectivement la teneur en humidité à tout moment, la teneur en humidité à l'équilibre et la teneur en humidité initiale. Dans cette méthode, les échantillons ont été placés dans un environnement maintenant l'humidité relative et la température constantes. Lorsque la variation du poids des échantillons était insignifiante, l'humidité des échantillons a été mesurée et adoptée comme teneur en humidité à l'équilibre (X_e). Afin de réduire l'humidité ambiante (temps sec et chaud), la teneur en humidité à l'équilibre est négligeable.

$$\text{XR} = X_t / X_0. \quad (\text{III.4})$$

Les courbes de séchage ont été construites par résonance magnétique en fonction du temps. La différenciation numérique des courbes de séchage est proportionnelle à la vitesse de séchage. Ce concept est utilisé comme vitesse de séchage sans dimension (DR) à travers le papier. [6]

Dans une régression linéaire l'objectif est de déterminer une relation linéaire entre deux jeux de données. Lorsque l'on parle de coefficient de détermination, également appelé « R carré », celui-ci intervient lorsque l'on cherche, dans cette régression linéaire, la force d'adéquation entre le modèle de cette régression et les données collectées. On parle alors de « qualité d'ajustement ». Ces coefficients peuvent être calculés comme suit : [7]

$$\mathbf{R}^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\text{XRexp},i - \text{XRpre},i)^2}{\sum_{i=1}^n (\text{XRexp} - \text{XRpre},i)^2} \quad (\text{III.5})$$

Où X_{Rexp} et X_{Rpre} sont, respectivement, la teneur en eau issue de l'expérience et prédite par le modèle, L'analyse statistique et de corrélations et les méthodes de régression sont largement utilisées dans la modélisation du comportement au cours du séchage de divers produits

agricoles. Les modèles de régression linéaire et non linéaire sont essentiels pour établir une relation entre les variables et sont d'une importance primordiale dans le cas où les auteurs n'ont pas établi de relations empiriques.

Tableau III. 10. Modèles mathématiques du séchage solaire.

N°	Modèles	Équations	N°.	Réf.
1	Newton (Lewis, Exponential, Single exponential) Model	$XR = \exp(-kt)$	(III.6)	[8]
2	Page Model	$XR = \exp(-kt^n)$	(III.7)	[9]
3	Herderson et Pabis (Single term, Generalized exponential) Model	$XR = A \exp(-kt)$	(III.8)	[10]
4	Modified Page model	$XR = \exp[-(kt)^n]$	(III.9)	[11]
5	Logarithmic Model	$XR = A \exp(-kt) + c$	(III.10)	[12]
6	Midilli-Kucuk (Midilli, Midilli et al.) Model	$XR = A \exp(-kt^n) + bt$	(III.11)	[13]
7	Diffusion Approximation (Diffusion Approach) Model	$XR = A \exp(-kt) + (1 - A)\exp(-kbt)$	(III.12)	[14]
8	Verma et al. (Modified Two-Term Exponential) Model	$XR = A \exp(-k_1t) + (1 - A)\exp(-k_2t)$	(III.13)	[15]
9	Two-Terms Model	$XR = A \exp(-k_1t) + b \exp(-k_2t)$	(III.14)	[16]
10	Two-Term Exponential Model	$XR = A \exp(-kt) + (1 - A)\exp(-kAt)$	(III.15)	[17]

III.5. La réhydratation

Pour déterminer la cinétique de réhydratation des produits étudiés, une série d'étapes expérimentales est généralement suivie. Tout d'abord, des échantillons séchés sont sélectionnés avec un pourcentage connu d'eau résiduelle. La réhydratation est ensuite réalisée en immergeant les échantillons dans de l'eau distillée à température modérée, avec ou sans agitation. La masse des échantillons (M_i) est mesurée à intervalles réguliers après essuyage de la surface, jusqu'à saturation ou équilibre.



(Pomme)



(Fraise)



(Banane)



(Oignon)



(Betterave)

Figure III. 19. Procédure d'hydratation des produits étudiés.

III.6. Contrôle de la qualité sanitaire des produits séchés

Avant leur commercialisation, les produits séchés doivent obligatoirement faire l'objet d'une évaluation rigoureuse de leur qualité sanitaire, afin de garantir leur innocuité pour le consommateur et leur conformité aux exigences réglementaires. [18] En effet, bien que le

séchage soit une méthode efficace pour inhiber l'activité microbienne en réduisant l'humidité du produit, il n'élimine pas systématiquement tous les micro-organismes pathogènes ni les contaminants chimiques potentiels. [19]

Ainsi, des analyses microbiologiques telles que le dénombrement des flores totales, des levures, des moisissures, des coliformes, de *Salmonella* spp., et de *Staphylococcus aureus* sont recommandées pour évaluer la sécurité microbiologique des produits.[20],[21],[22] De plus, des paramètres physico-chimiques comme l'humidité résiduelle [23], l'activité de l'eau[19] et le pH [25] sont à contrôler car ils influencent fortement la stabilité et la durée de conservation des produits.

III.6.1. Analyses physico-chimiques

Cette partie vise à évaluer la conformité sanitaire des fruits et légumes séchés (fraise, banane, pomme, oignon, betterave) par l'analyse de leurs caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques, conformément aux exigences des normes internationales en matière de sécurité alimentaire.

Les analyses réalisées dans cette étude comprennent la teneur en humidité résiduelle, le pH, le degré Brix, l'activité de l'eau, la teneur en eau.

III.6.1.1. Mesure du pH

Le pH est un indicateur important de la stabilité et de la conservation des produits alimentaires, influençant également la croissance microbienne. [25]

Méthode : Directe en suspension dans l'eau

Matériel : pH-mètre calibré, agitateur magnétique, béchers

1. Prendre 10 g d'échantillon finement broyé.
2. Ajouter 100 ml d'eau distillée.
3. Agiter pendant 30 minutes.
4. Effectuer une centrifugation.
5. Immerger l'électrode du pH-mètre dans le surnageant liquide et lire.

III.6.1.2. Teneur en sucres solubles totaux (°Brix)

Degré Brix : il évalue la concentration en solides solubles totaux, principalement les sucres, ce qui est crucial pour le contrôle qualitatif et sensoriel des fruits séchés.

Méthode : Réfractométrie

1. Peser 10 g de d'échantillon finement broyé.

2. Ajouter 100 ml d'eau distillée chaude (60–70 °C).
3. Laisser reposer 30 min, agiter régulièrement.
4. Centrifuger.
5. Mesurer une goutte de surnageant sur un réfractomètre. Résultat exprimé en °Brix.

III.6.1.3. Activité de l'eau (aw)

L'activité de l'eau indique la disponibilité de l'eau pour les micro-organismes, influençant leur survie et leur prolifération [19].

Méthode : Mesure par hygromètre.

1. Placer l'électrode directement dans le sac contenant le produit séché.
2. Lecture directe après stabilisation (~5 minutes). ($aw \leq 0.6$ = produit microbiologiquement stable).

III.6.1.4. Teneur en Humidité résiduelle

Cette mesure permet de vérifier la stabilité du produit séché et de limiter la croissance microbienne, car une humidité d'un produit séché trop élevée favorise le développement des microorganismes.

Méthode : Dessiccation à l'étuve (Norme : AOAC 934.06 / ISO 712)

Principe : Séchage à 105 °C.

1. Peser 5 g d'échantillon broyé.
2. Placer dans une capsule tarée.
3. Mettre au four à 105 °C pendant 2 à 3 heures.
4. Refroidir dans un dessiccateur puis peser.
5. Calcul :

$$\text{Humidité résiduelle}\% = \frac{\text{Poids initial} - \text{Poids après séchage}}{\text{Poids initial}} \times 100 \quad (\text{III.16})$$

- Poids initial (avant étuve) : Masse du produit déjà séché avant passage en étuve pour détermination de l'humidité résiduelle.
- Poids après séchage (après étuve) : Masse du produit séché après un autre séchage en étuve à 105°C pendant 2 h.

III.6.2. Analyses microbiologiques (selon la norme ISO 4833 et le Codex)

Cinq produits alimentaires déshydratés ont été soumis à l'analyse microbiologique : banane séchée, fraise séchée, pomme séchée, betterave séchée et oignon séché. [20]

Bien que plusieurs procédés de déshydratation soient disponibles, un seul traitement a été sélectionné pour chaque produit, accompagné d'un témoin non traité, soit un total de dix échantillons analysés. [18]

III.6.2.1. Dénombrement de la flore fongique (levures et moisissures) sur PDA des produits séchés

Une masse de 2 à 3 g de chaque échantillon a été prélevée de manière aseptique, puis homogénéisée dans 10 ml de peptone tamponnée stérile (Buffered Peptone Water BPW, est un milieu liquide non sélectif utilisé principalement pour le pré-enrichissement des échantillons alimentaires) voir annexe.

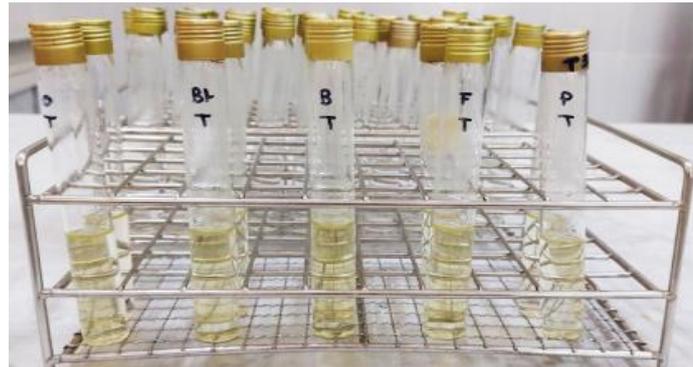


Figure III. 20. Peptone tamponnée (BPW)

À partir de la dilution mère (BPW), une série de dilutions décimales allant jusqu'à 10^{-4} a été réalisée en transférant 1 ml dans 9 ml d'eau distillée stérile à chaque étape. Les dilutions ont été réalisées en tubes stériles et homogénéisées par vortex.

À partir de la dilution 10^{-3} , 1,0 ml de chaque suspension ont été déposés dans une boîte de Petri contenant le milieu PDA (Potato Dextrose Agar est un milieu de culture gélosé utilisé principalement pour la culture des champignons et levures, notamment en microbiologie alimentaire) (voir annexe). Les boîtes ont été incubées à 30 °C pendant 2 à 3 jours.

Chaque échantillon a été ensemencé en double, soit dans deux boîtes de Pétri distinctes ($n=2$), afin d'assurer la reproductibilité et la fiabilité des résultats obtenus. [25]



Figure III. 21. Matériel destiné à l'ensemencement aseptique sur gélose PDA de la flore fongique isolée à partir d'échantillons de produits séchés

Après incubation, les colonies caractéristiques de levures (crèmeuses, rondes) et de moisissures (filamenteuses, duveteuses) ont été comptées.

Les résultats ont été exprimés en unités formant colonies par gramme d'échantillon (UFC/g) selon la formule :

$$\text{UFC/g} = \frac{\sum C}{(n_1 + 0,1 n_2) \times d} \quad (\text{III.17})$$

Où :

$\sum C$ = somme des colonies comptées sur toutes les boîtes retenues,

n_1 = nombre de boîtes comptables à la première dilution,

n_2 = nombre de boîtes comptables à la dilution suivante,

d = dilution correspondant à la première dilution utilisée.

Les valeurs ont été rapportées sous forme de moyenne des deux boîtes.

III.6.2.2. Dénombrement de la flore aérobic mésophile (FAM)

Le dénombrement de la flore aérobic mésophile (FAM) sur les produits séchés (banane, fraise, pomme, betterave, oignon) à l'aide du milieu PCA (Plate Count Agar, est un milieu de culture non sélectif utilisé pour le dénombrement des bactéries aérobic mésophiles totales (ou flore aérobic mésophile) dans des échantillons alimentaires) voir annexe :

Une masse de 2 à 3 g de chaque produit séché a été introduite dans un tube stérile contenant 10 ml de peptone tamponnée.

À partir de la dilution mère, une série de dilutions décimales (10^{-2} à 10^{-5}) a été réalisée. Pour chaque dilution, 1,0 ml de la dilution précédente ont été transférés dans 9 ml d'eau distillée stérile, puis homogénéisés.

Le milieu PCA (Plate Count Agar) a été utilisé pour le dénombrement de la flore aérobie mésophile. Le milieu a été préparé puis stérilisé à 121 °C pendant 15 minutes.

Après refroidissement à 45–50 °C, il a été utilisé pour l'ensemencement en profondeur.

Pour la dilution sélectionnée 10^{-4} , 1,0 ml a été placé dans une boîte de Pétri stérile. Environ 15 à 20 ml de PCA fondu et tiède ont été versés dans chaque boîte, puis mélangés doucement. Les boîtes ont été incubées à 30 °C pendant 48 heures.

Chaque échantillon a été ensemencé en double, soit dans deux boîtes de Pétri distinctes ($n=2$), afin d'assurer la reproductibilité et la fiabilité des résultats obtenus. [29]

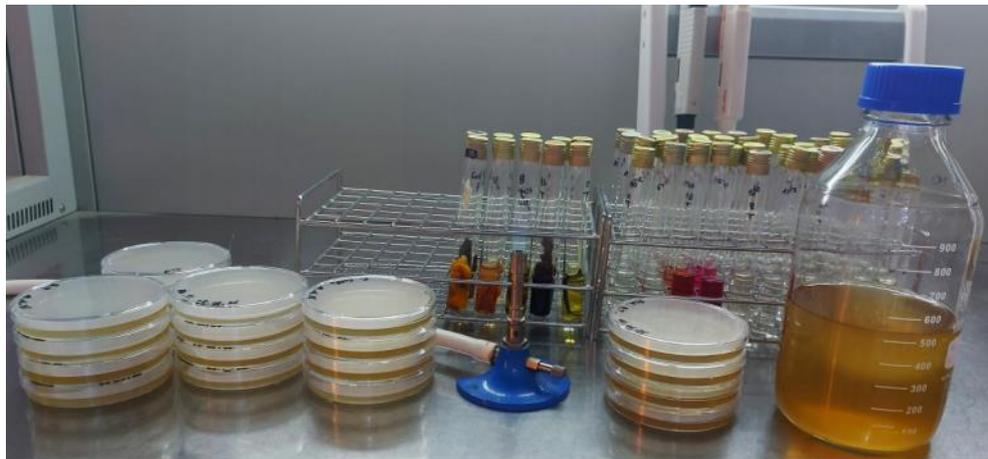


Figure III. 22. Matériel destiné à l'ensemencement aseptique sur gélose PCA de la flore aérobie mésophile isolée à partir d'échantillons de produits séchés.

Après incubation, les colonies bien isolées ont été comptées (entre 30 et 300 colonies par boîte).

Les résultats ont été exprimés en UFC/g (unités formant colonies par gramme) selon la formule décrite précédemment.

III.6.3. Évaluation sensorielle des produits séchés

L'évaluation sensorielle vise à étudier l'impact sur les propriétés organoleptiques des produits séchés, en relation avec leur qualité commerciale.

L'évaluation sensorielle a été réalisée auprès d'un panel de 10 personnes, qui ont évalué les échantillons à l'aide d'une échelle hédonique à 9 points pour les critères suivants : couleur, odeur, texture, goût et acceptabilité globale, conformément à la norme.

III.6.4. Analyse colorimétrique

La couleur des échantillons séchés après traitement thermique a été évaluée à l'aide d'un colorimètre modèle LS170 (Linshang Technology, Chine). Cet appareil permet l'évaluation des paramètres colorimétriques selon le système CIELAB (L^* , a^* , b^*) ainsi que le calcul des indices C^* (Chroma) et h^* (Hue angle).

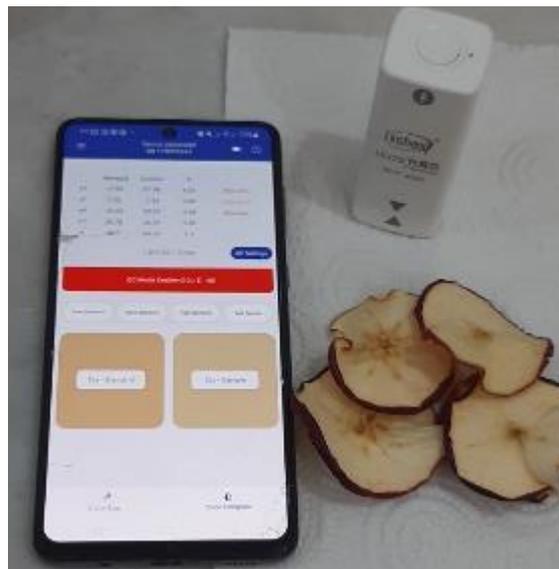


Figure III. 23. Dispositif expérimental pour analyse colorimétrique.

Les paramètres mesurés et calculés sont les suivants :

1. L^* (Clarté) : indique la luminosité de l'échantillon sur une échelle de 0 (noir) à 100 (blanc).
2. a^* : représente la composante de couleur sur l'axe vert-rouge. Les valeurs négatives indiquent une teinte verte, les valeurs positives une teinte rouge.
3. b^* : représente la composante de couleur sur l'axe bleu-jaune. Les valeurs négatives indiquent une teinte bleue, les valeurs positives une teinte jaune.
4. C^* (Chroma) : mesure la saturation ou l'intensité de la couleur, calculée selon la formule :

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (\text{III.18})$$

5. h^* (Hue angle) : détermine la teinte dominante de l'échantillon, exprimée en degrés selon la formule :

$$h^* = \arctan \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (\text{III.19})$$

Les valeurs de h^* s'interprètent ainsi : 0° correspond à une teinte rouge, 90° au jaune, 180° au vert, et 270° au bleu.

L'appareil a été calibré à l'aide de la plaque standard fournie par le fabricant avant chaque série de mesures, conformément aux recommandations du constructeur.

Conclusion

Les protocoles décrits dans ce chapitre ont permis une caractérisation systématique des étapes clés du séchage et de la réhydratation des produits étudiés. Les protocoles standardisés, couplés à des analyses physico-chimiques et microbiologiques, offrent une base solide pour évaluer l'efficacité des prétraitements sur la qualité finale des produits séchés. Les modèles cinétiques appliqués (Page, Midilli-Kucuk, etc.) ont facilité l'interprétation des données expérimentales, tandis que les contrôles sanitaires assurent la conformité aux normes alimentaires. Ces résultats préparent le terrain pour les analyses comparatives et les recommandations pratiques présentées dans le chapitre IV.

Reference Bibliographies

- [1]. <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/botanique-fraise-nest-pas-fruit-14182/>
- [2]. <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Pomme.html>
- [3]. <https://agreage.ctifl.fr/fiche/fruits/BANANE>
- [4]. <https://agriculturenaturelle.wordpress.com/2017/11/07/foisonnement-de-bulbes-de-maraicher%C2%B7ere%C2%B7s-et-de-recoltes/>
- [5]. <https://lyc-bascan.fr/je-suis-un-legume-racine-de-couleur-rouge-foncee-et-mes-tiges-sont-vertes-et-rouges-qui-suis-je/>
- [6]. http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Wikigeotech:Teneur_en_eau
- [7]. S. Naserinezhad, N. Eesami, A.P. Najafabady, M.G. Falavarjani, Modélisation mathématique du séchage des tranches de pommes de terre dans un séchoir à convection forcée basée sur des paramètres importants, *Food Sci Nutr*, 4 (2015) 110-118.
- [8]. <https://datascientest.com/coefficient-de-determination>
- [9]. W.K. Lewis, The Rate of Drying of Solid Materials. *Journal of Industrial & Engineering Chemistry*, 13 (1921) 427-432.
- [10]. C. D. Fassnacht, E. Xanthopoulos, L. V. E. Koopmans, D. Rusin, A determination of h_0 with the class gravitational lens b1608+656. iii. A significant improvement in the precision of the time delay measurements, *The Astrophysical Journal*, 581 (2002) 823–835.
- [11]. L. Zhang, Y. Zhang, Y. Zhou, S. An, Y. Zhou, J. Cheng, Response of gene expression in *Saccharomyces cerevisiae* to amphotericin B and nystatin measured by microarrays. *J Antimicrob Chemother*, 49 (2002) 905-15.
- [12]. A. Midilli, H. Kucuk, Z. Yapar, A new model for single-layer drying, *Drying Technology*, 20 (2002) 1503-1513.
- [13]. I. Hazbavi, S. Hashem Samadi & Hamid, Using of Semi-Empirical Models and Fick's Second Law for Mathematical Modeling of Mass Transfer in Thin Layer Drying of Carrot Slice, *Global Journal of Science Frontier Research Biological Science*, 13 (2013) 2249-4626.
- [14]. A. Midilli, H. Kucuk, Z. Yapar, A new model for single-layer drying, *Drying Technology*, 20 (2002) 1503-1513.

- [15]. O. Yaldiz, C. Ertekin, H. Ibrahim Uzun, Mathematical modeling of thin layer solar drying of Sultana grapes, *Energy*, 26 (2001) 457-465.
- [16]. A. Mahjoorian, M. Mokhtarian, N. Fayyaz, F. Rahmati, S. Sayyadi, P. Ariai, Modeling of drying kiwi slices and its sensory evaluation, *Food Sci Nutr*, 13 (2016) 466–473.
- [17]. AOAC (2000). *Official Methods of Analysis* (17th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis-21st-edition-2019/>
- [18]. Codex Alimentarius Commission (2017). *General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed (CAC/GL 90-2017)*. FAO/WHO. <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/guidelines/en/>
- [19]. European Commission (2006). *Commission Regulation (EC) No 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32006R1881>
- [20]. ISO 4833-1:2013. *Microbiology of the food chain — Horizontal method for the enumeration of microorganisms — Part 1: Colony count at 30 degrees C by the pour plate technique*. <https://www.iso.org/standard/53728.html>
- [21]. ISO 21527-1:2008. *Microbiology of food and animal feeding stuffs — Horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds — Part 1: Colony count technique in products with water activity greater than 0.95*. <https://www.iso.org/standard/40445.html>
- [22]. ISO 6579-1:2017. *Microbiology of the food chain — Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella — Part 1: Detection of Salmonella spp.* <https://www.iso.org/standard/56712.html>
- [23]. ISO 21807:2004. *Microbiology of food and animal feeding stuffs — Determination of water activity*. <https://www.iso.org/standard/36048.html>
- [24]. ISO 1842:1991. *Fruit and vegetable products — Determination of pH*. <https://www.iso.org/standard/13071.html>
- [25]. ISO 7218:2007 — *Microbiology of food and animal feeding stuffs — General requirements and guidance for microbiological examinations*. <https://www.iso.org/standard/43971.html>

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Introduction

Ce chapitre présente une analyse détaillée des résultats obtenus lors des expérimentations sur l'effet des prétraitements sur la qualité de fraises, pommes, bananes, oignons et betteraves séchés. Les données recueillies couvrent plusieurs aspects, notamment les caractéristiques physico-chimiques, les cinétiques de séchage, la réhydratation, ainsi que les analyses microbiologiques et sensorielles. Les résultats sont discutés en lien avec la littérature scientifique afin d'évaluer l'efficacité des différents prétraitements et leur impact sur la préservation des propriétés organoleptiques et nutritionnelles des produits séchés. Cette analyse permet de mettre en lumière les méthodes les plus prometteuses pour optimiser le processus de séchage tout en garantissant la qualité et la sécurité des produits finaux.

IV.1. Effet du prétraitement sur la qualité des fruits séchés

IV.1.1. Effet du prétraitement sur les fraises séchées

IV.1.1.1. Analyse des images de fraises soumises à différents prétraitements

Pour l'étape 01 :



Blanchiment à l'eau chaude de $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant 3 minutes, et après à l'eau froide.



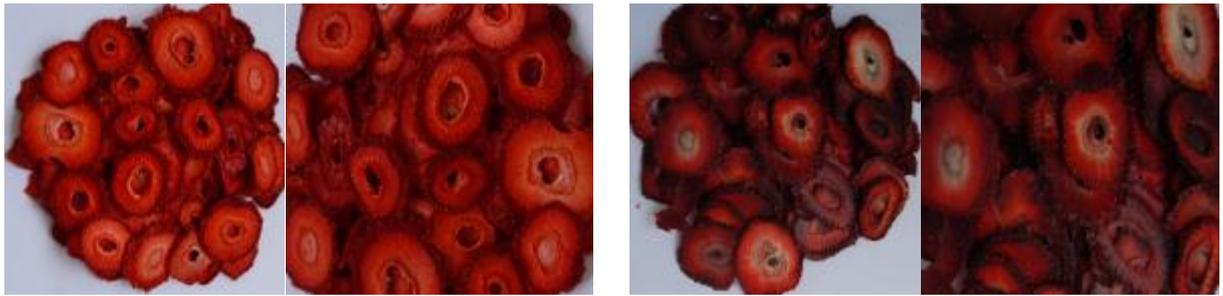
Immersion dans une solution saccharose de concentration 13 % pendant 30 minutes à une température ambiante



Immersion dans une solution glucose de concentration 13 % pendant 30 minutes à une température ambiante.



Immersion dans une solution NaCl de concentration 8 % pendant 20 minutes à une température ambiante.



Immersion dans une solution CaCl_2 de concentration 12 % pendant 20 minutes à une température ambiante.

Immersion dans une solution acide citrique de concentration 0,5 % pendant 8 minutes à une température ambiante.



Témoin (sans prétraitement)

Figure IV.1. Effet des différents prétraitements sur la qualité des fraises séchées dans un séchoir indirect (étape 01).

L'analyse des images de fraises séchées à l'aide d'un séchoir solaire indirect met en évidence des différences nettes en termes de couleur rouge, de forme, de rétrécissement et de goût.

Le prétraitement par CaCl_2 s'est révélé le plus efficace pour préserver la texture des fruits séchés, tandis que l'**acide citrique** a permis une meilleure conservation de la couleur en limitant le brunissement enzymatique. Le traitement par **sucres** (glucose et saccharose) a amélioré le goût sucré des échantillons, mais pourrait favoriser le brunissement non enzymatique s'il est mal maîtrisé. Le témoin, non prétraité, a présenté une dégradation notable de la qualité sensorielle globale. [1]

Pour l'étape 02 :

Après avoir obtenu les résultats de l'étape 01, nous avons d'abord sélectionné les meilleurs prétraitements. Ensuite, nous avons fait varier (augmentation ou diminution) la concentration et la durée d'immersion pour chaque prétraitement. Ces conditions expérimentales sont résumées dans la figure suivante :

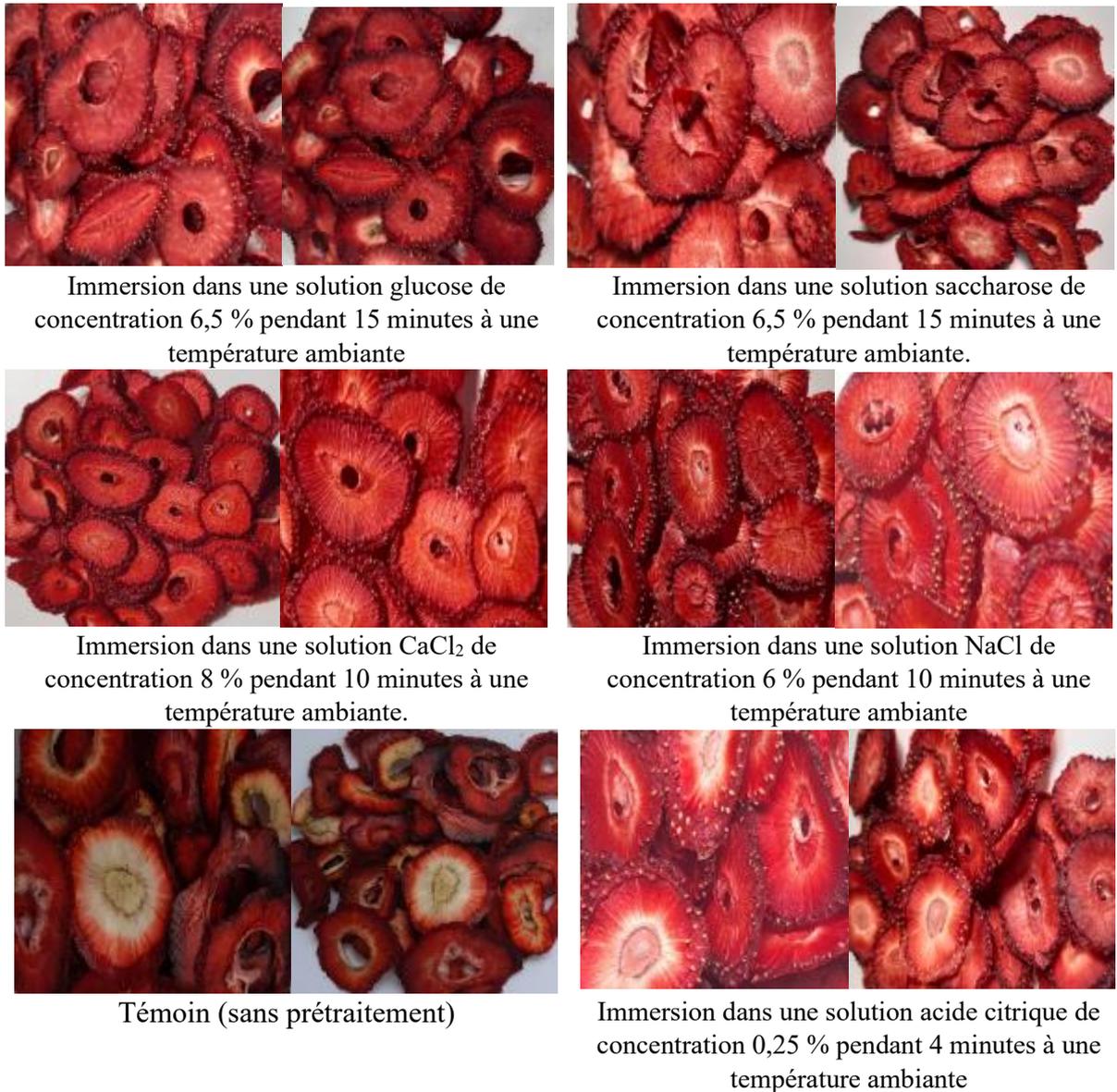


Figure IV.2. Effet des différents prétraitements sur la qualité de fraises séchées dans un séchoir indirect (étape 02).

L'analyse des images de fraise séchée utilisant un séchoir solaire indirect révèle des différences claires en termes de couleur rouge, de forme, de rétrécissement et de goût.

La réduction des concentrations et durées d'immersion a diminué l'efficacité des prétraitements. Le CaCl_2 a maintenu la fermeté [2], l'**acide citrique** a limité partiellement le brunissement [3], tandis que le **glucose** et le **saccharose** ont amélioré la douceur sans brunissement excessif [4]. L'effet du NaCl est resté modéré [1]. Le **témoin** a montré une dégradation marquée.

Pour l'étape 03 :

D'après les résultats de la deuxième étape, les trois meilleurs prétraitements ont été sélectionnés. Pour chacun d'eux, soit la concentration a été maintenue constante tandis que la

durée d'immersion variait, soit la durée d'immersion a été fixée et la concentration ajustée. Ces conditions expérimentales sont résumées dans la figure IV.3.



Immersion dans une solution glucose de concentration 3,25 % pendant 15 minutes à une température ambiante.



Immersion dans une solution saccharose de concentration 3,25% pendant 15 minutes à une température ambiante.



Immersion dans une solution glucose de concentration 6,5 % pendant 7 minutes à une température ambiante.



Immersion dans une solution saccharose de concentration 6,5% pendant 7 minutes à une température ambiante.



Immersion dans une solution d'acide citrique de concentration 0,25 % pendant 2 minutes à une température ambiante.



Immersion dans une solution d'acide citrique de concentration 0,125 % pendant 4 minutes à une température ambiante.



Témoin (sans prétraitement).

Figure IV.3. Effet des différents prétraitements sur la qualité de fraises séchées dans un séchoir indirect (étape 03).

La réduction progressive des concentrations et durées d'immersion des prétraitements au glucose, saccharose et acide citrique a conduit à une efficacité moindre sur la préservation des qualités des fruits séchés. Les plus faibles concentrations (glucose 1,625 %, saccharose 1,625 %, acide citrique 0,0625 %) ont montré un effet limité sur la texture et la couleur par rapport aux concentrations plus élevées. Le traitement à l'acide citrique, même à faible dose, a contribué à limiter légèrement le brunissement enzymatique [3], tandis que les sucres ont apporté une douceur modérée sans excès de brunissement non enzymatique [4]. Le témoin a présenté la dégradation la plus marquée.

IV.1.1.2. La teneur en eau initiale de fraises

La teneur en eau à base humide (W_0) et à base sèche (X) de la fraise est présentée dans la Tableau IV.1.

$$W_0 (\%) = M_w / M_s \times 100 = [(M_h - M_s) / M_h] \times 100 \quad (\text{IV.1})$$

$$X = [(M_h - M_s) / m_s] \quad (\text{IV.2})$$

Tableau IV.1. La teneur en eau initiale à base humide (W_0) et à base sèche (X) des fraises.

Fraise	M_h	M_s	$W_0 (\%)$	X
Echantillon 01	29,52	2,52	91,46	10,714
Echantillon 02	37,37	2,03	94,56	17,409
Echantillon 03	22,95	1,05	95,42	20,857
Echantillon 04	16,10	0,73	95,46	21,055
		La moyenne	95,15	19,774

IV.1.1.3. Cinétique de séchage des fraises

Lorsque la fraise est traitée et placée dans un séchoir solaire indirect, sa teneur en eau est surveillée jusqu'à ce qu'elle soit complètement sèche :

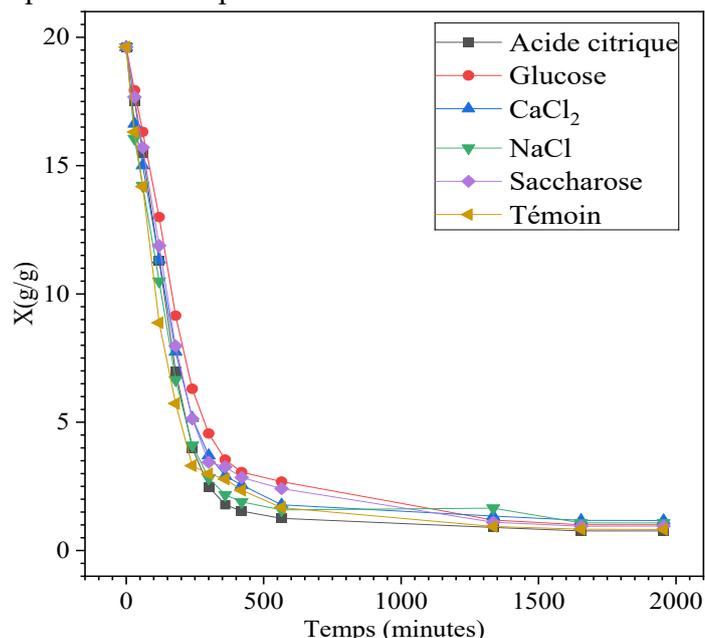


Figure IV.4. Variation de la teneur en eau (base sèche) des fraises en fonction du temps de séchage.

En regardant l'évolution du taux d'eau des fraises en fonction du temps de séchage, on peut dire que les concentrations en acide citrique et en glucose ont un effet très intéressant et assez rétroactif sur la teneur finale en eau des spécules, en effet, elles permettent de réduire rapidement la teneur en eau des spécules. À l'inverse, pour les deux autres concentrations, en NaCl et en Saccharose, la teneur en eau est un peu plus élevée. Elles permettent donc de retenir l'eau sinon la saveur de la fraise au fil du temps.

IV.1.1.4. Réhydratation des fraises

Tableau IV.1. Résultats de la réhydratation des fraises séchées :

Tempe	M _{Témoin} (g)	M _{Glucose} (g)	M _{Saccharose} (g)	M _{Acide citrique} (g)	M _{NaCl} (g)	M _{CaCl₂} (g)
t=0	1,311	1,245	1,304	1,356	1,10	1,106
t=60min	5,608	5,128	5,216	6,063	4,598	3,890
t=120min	6,179	5,852	5,848	6,438	4,998	4,091
t=180min	6,552	6,99	5,84	6,686	5,248	4,277

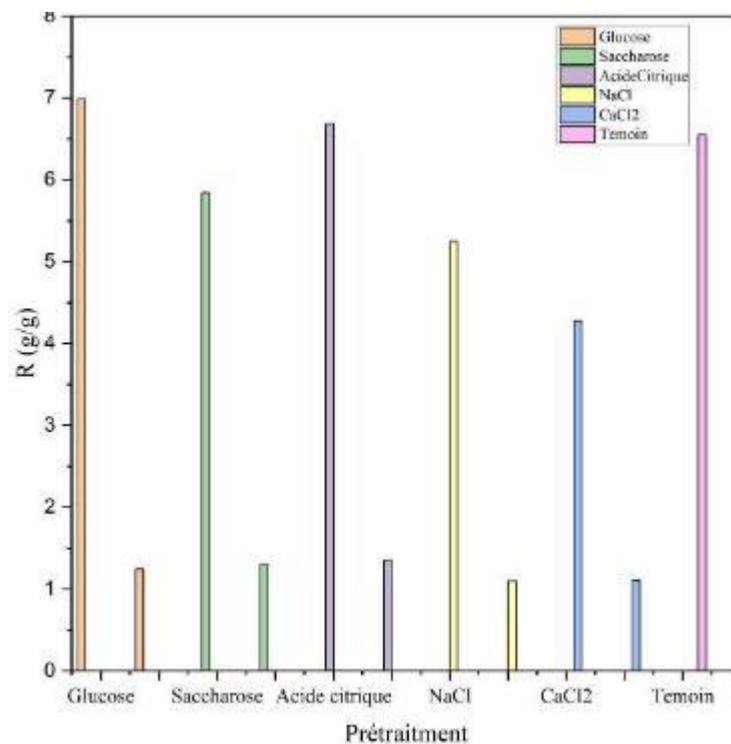
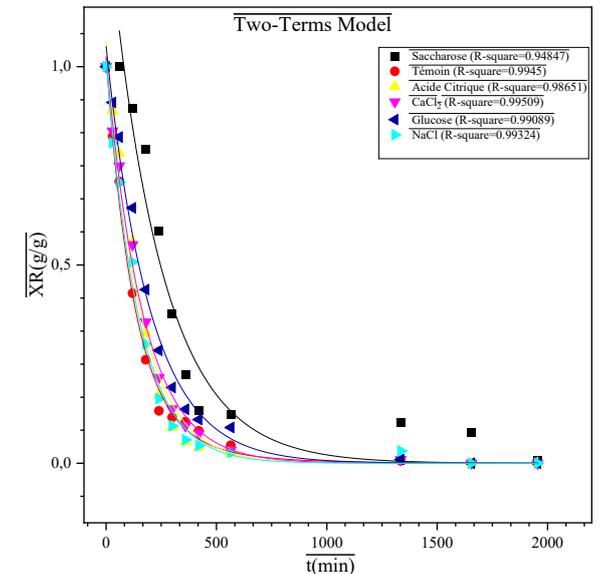
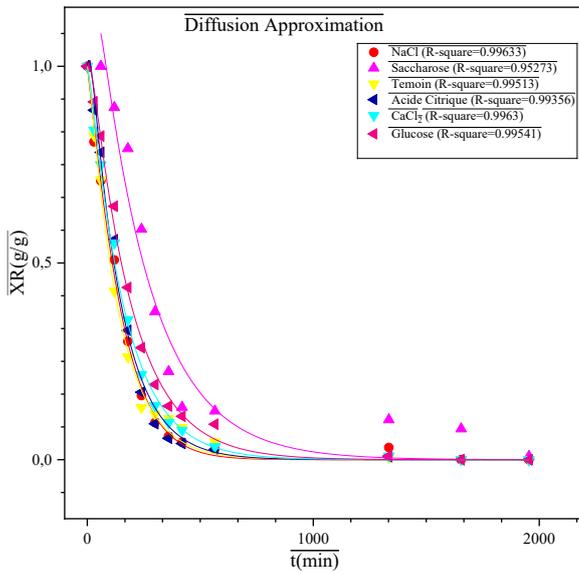
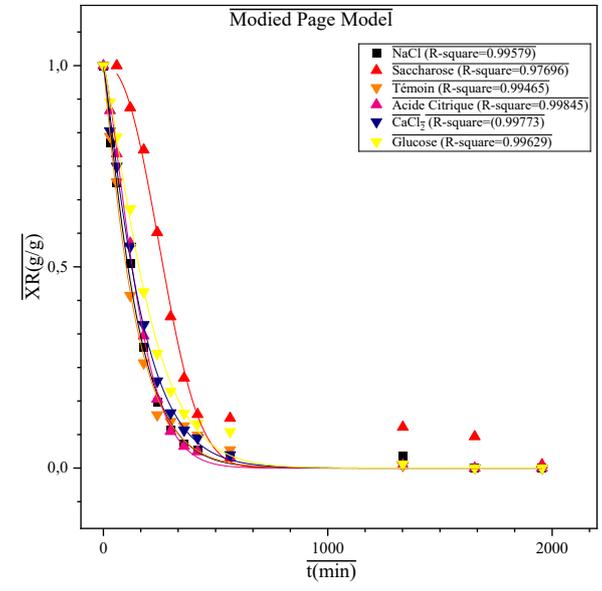
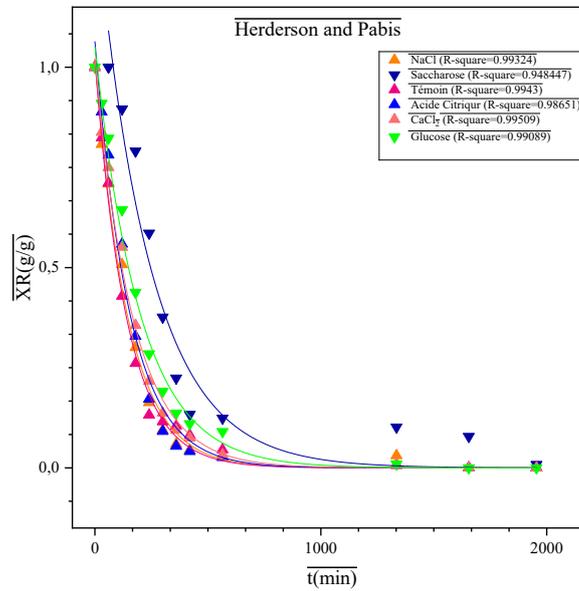
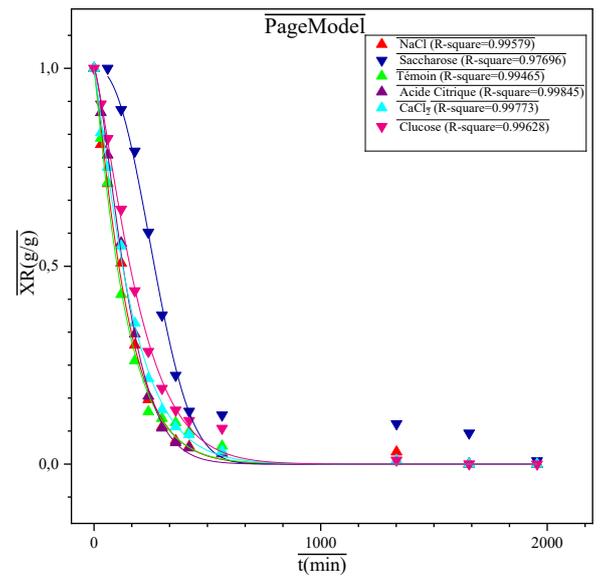
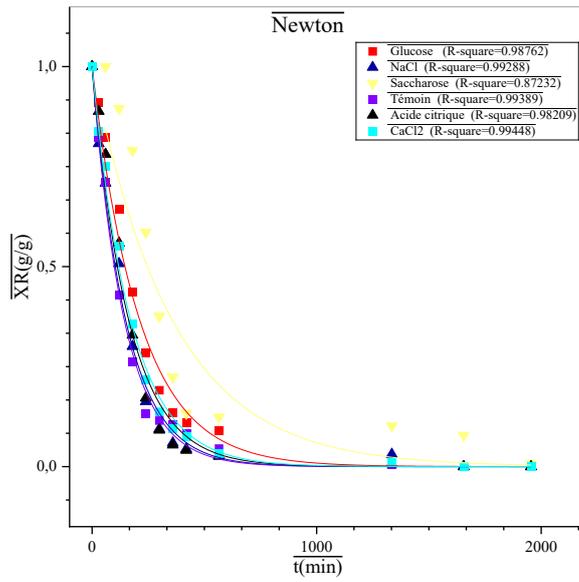


Figure IV.5. Colonnes de réhydratation de fraise.

L'analyse des données de réhydratation des fraises montre que la quantité de réhydratation (R) varie considérablement selon le traitement. Le glucose a entraîné la plus forte réhydratation, atteignant environ 7 g, suivi du saccharose et de l'acide citrique, qui ont démontré des effets notables. En revanche, les traitements avec NaCl, CaCl₂ et le témoin ont donné des résultats similaires, mais inférieurs, indiquant que ces sels n'ont pas favorisé la réhydratation. Ces résultats suggèrent que les sucres jouent un rôle clé dans le processus de réhydratation des fraises.

IV.1.1.5. Modélisation de la cinétique de séchage des fraises



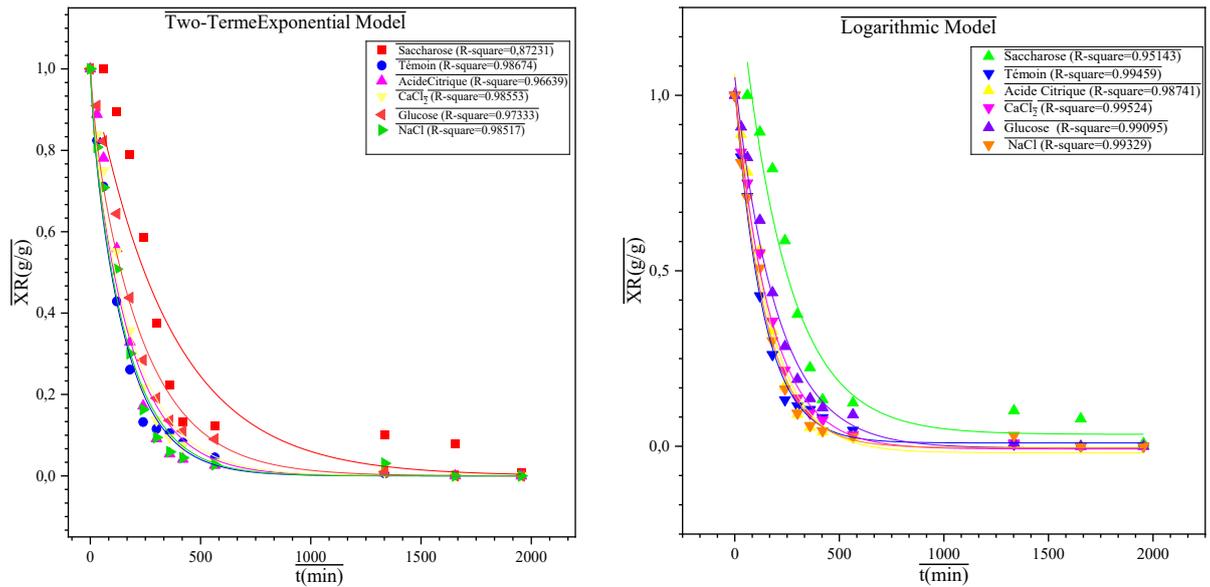


Figure IV.6. Les courbes de la variation de la faible teneur en eau en fonction du temps de séchage des fraises.

Des résultats statistiques ont été obtenus à partir des modèles de séchage solaire indirect et de prétraitement de fruit de fraise par : **prétraitement d'acide citrique lissé par le modèle Page Model** ($R^2 = 0,99845$), ($\chi^2 = 2,34 \times 10^{-4}$).

Tableau IV.2. Résultats statistiques des modèles de séchage solaire indirect et de prétraitement de fruit fraise.

N°	Les modèles	Les paramètres du modèle							La régression du modèle	
		K	A	b	c	k1	k2	N	R ²	χ ²
1	Newton	0,0062	-	-	-	-	-	-	0,982	0,0025
2	Page Model	$7,89 \times 10^{-4}$	-	-	-	-	-	1,397	0,998	$2,34 \times 10^{-4}$
3	Herderson and Pabis	0,0067	1,065	-	-	-	-	-	0,987	0,0020
4	Modied Page Model	0,006	-	-	-	-	-	1,398	0,998	$2,34 \times 10^{-4}$
5	Logarithmic Model	0,006	1,080	-	-0,018	-	-	-	0,987	$7,71 \times 10^{-4}$
6	Midilli-Kucuk	31,106	1	$3,59 \times 10^{-5}$	-	-	-	59,845	-0,113	0,2057
7	Verma et al Model	-	- 36170 56,92	-	-	0,1	0,1	-	-0,066	0,1612
8	Two-Terms Exponential Model	0,055	0,1	-	-	-	-	-	0,966	0,0047
9	Two-Terms Model	-	0,1	0,964	-	0,0066	0,0066	-	0,987	0,0022
10	Diffusion Approximation	0,073	-0,185	0,1	-	-	-	-	0,994	$9,73 \times 10^{-4}$

IV.1.2. Effet du prétraitement sur les pommes séchées

IV.1.2.1. Analyse des images de pommes soumises à différents prétraitements

➤ Pour l'étape 01 :



Blanchiment à l'eau chaude de $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant 3 minutes.

Immersion dans une solution glucose de concentration 20 % pendant 15 min à une température ambiante.



Immersion dans une solution de saccharose de concentration 20% pendant 15 min à une température ambiante

Immersion dans une solution de NaCl de concentration 2 % pendant 10 min à une température ambiante.



Immersion dans une solution de CaCl_2 de concentration 2% pendant 10 min à une température ambiante.

Immersion dans une solution d'acide citrique de concentration 0,5 % pendant 10 minutes à une température ambiante.



Immersion dans une solution acide ascorbique de concentration 20% pendant 10 min à une température ambiante

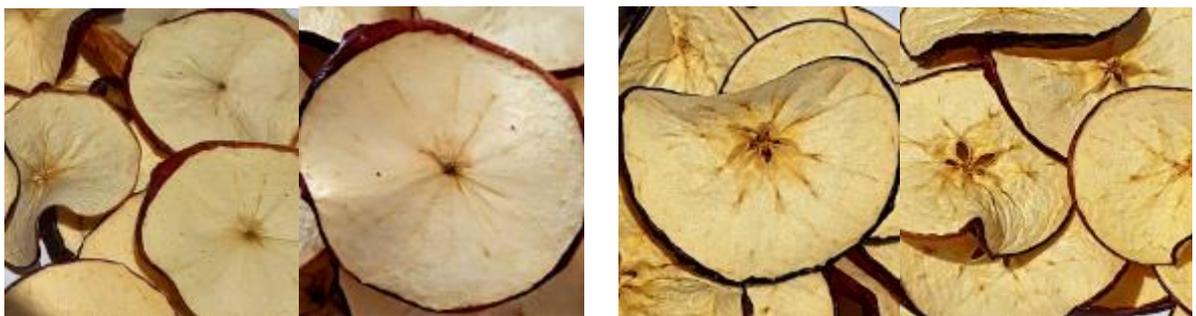
Témoin (sans prétraitement)

Figure IV.7. Effet du différent prétraitement sur la qualité de pommes séchées dans un séchoir indirect (étape 01).

Les prétraitements ont amélioré la qualité des fruits séchés (pommes) comparés au témoin, Le **blanchiment** a réduit l'activité enzymatique [1]. Le **glucose** et le **saccharose** ont amélioré la douceur mais peuvent favoriser le brunissement [4]. Le **CaCl₂** a renforcé la fermeté [2]. L'**acide citrique** et l'**acide ascorbique** ont limité le brunissement [3].

Pour l'étape 02 :

Après avoir obtenu les résultats de l'étape 01, nous avons d'abord sélectionné les meilleurs prétraitements. Ensuite, nous avons fait varier (augmentation ou diminution) la concentration et la durée d'immersion pour chaque prétraitement. Ces conditions expérimentales sont résumées dans la figure suivante :



Immersion dans une solution CaCl₂ de concentration 1 % pendant 10 min à une température ambiante.

Immersion dans une solution NaCl de concentration 1 % pendant 10 min à une température ambiante.



Immersion dans une solution acide citrique de concentration 0,25 % pendant 10 minutes à une température ambiante.



Immersion dans une solution acide ascorbique de concentration 10 % pendant 10 minutes à une température ambiante.



Témoin (sans prétraitement).

Figure IV.8. Effet des différents prétraitements sur la qualité de pommes séchées dans un séchoir indirect (étape 02).

Les prétraitements à faible concentration ont permis d'améliorer la qualité des fruits comparés au témoin. Le NaCl et le CaCl_2 ont contribué à la fermeté [2], tandis que l'**acide citrique** et l'**acide ascorbique** ont limité le brunissement [3]. Le **témoin** a présenté les altérations les plus marquées.

IV.1.2.2. La teneur en eau initiale de pommes

Tableau IV.3. La teneur en eau initiale à base humide (W_0) et à base sèche (X) de pommes :

Pommes	M_h	M_s	W_0 (%)	X
Echantillon 1	15,27	2,00	86,9	6,635
Echantillon 2	15,22	2,47	83,7	5,161
Echantillon 3	15,71	2,86	81,7	4,493
		La moyenne	84,1	5,429

IV.1.2.3. Cinétique de séchage des pommes

Lorsque la pomme est traitée et placée dans un séchoir solaire indirect, sa teneur en eau est surveillée jusqu'à ce qu'elle soit complètement sèche :

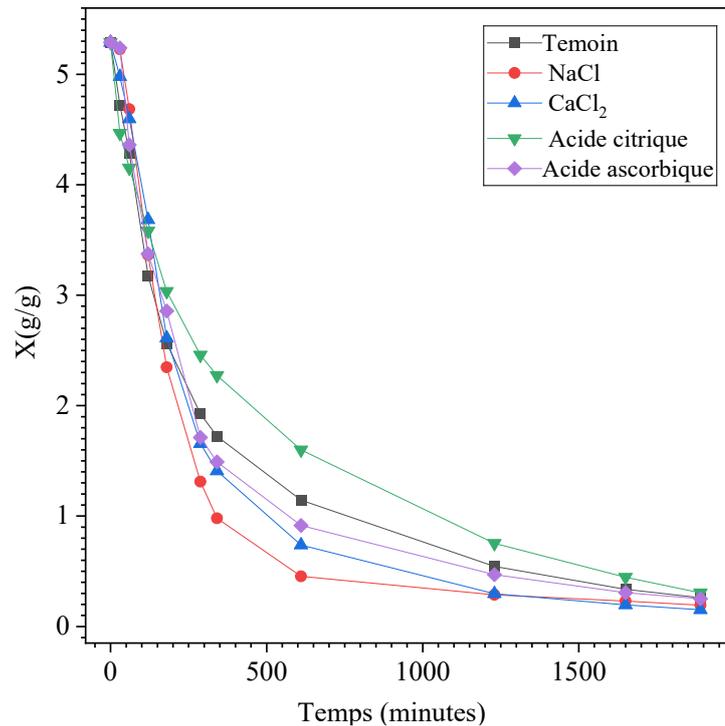


Figure IV.9. Variation de la teneur en eau (base sèche) des pommes en fonction du temps de séchage.

L'observation de la figure de la teneur en eau des pommes selon leur temps de séchage permet de voir certains aspects intéressants. Nous avons pu voir que les traitements à l'acide citrique et l'acide ascorbique permettent d'avoir une teneur en eau basse rapidement, alors que celui traité avec du NaCl a une évolution plus douce et que le témoin est celui qui a les teneurs en eau les plus élevées. Cela montre bien que les différents agents de traitements permettent d'optimiser le séchage des pommes.

IV.1.2.4. Réhydratation des pommes

Tableau IV.4. Résultats de la réhydratation des fruits pommes :

Temp	$M_{\text{Témoin}}$ (g)	M_{Glucose} (g)	$M_{\text{Saccharose}}$ (g)	$M_{\text{Acide citrique}}$ (g)	M_{NaCl} (g)	M_{CaCl_2} (g)
t=0	3,479	3,217	3,5692	3,401	3,091	3,061
t=60min	7,868	6,883	7,402	6,876	8,236	7,192
t=120min	9,538	9,118	9,743	8,888	10,749	9,543
t=180min	13,49	11,93	13,18	12,84	14,20	13,09
t=1436min	14,02	12,08	14,68	15,20	14,55	14,20

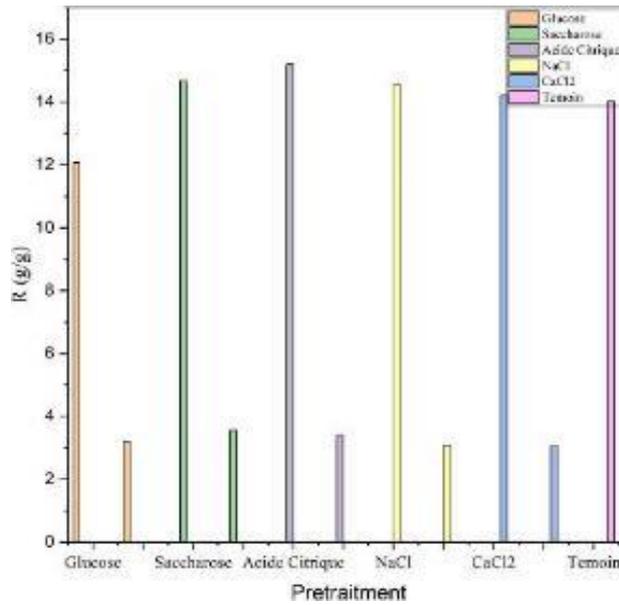
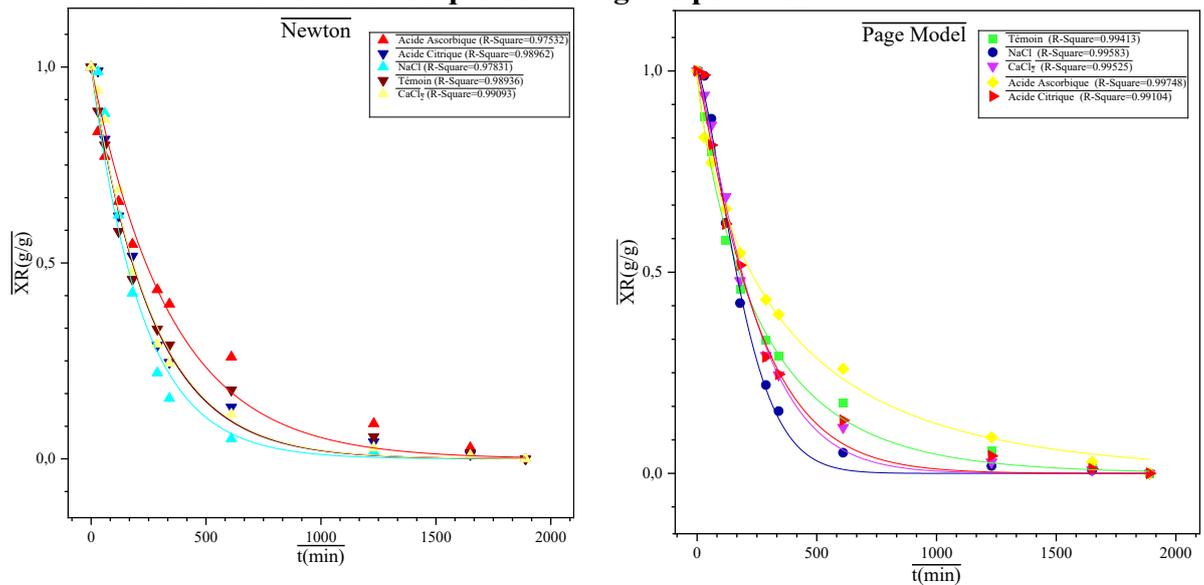
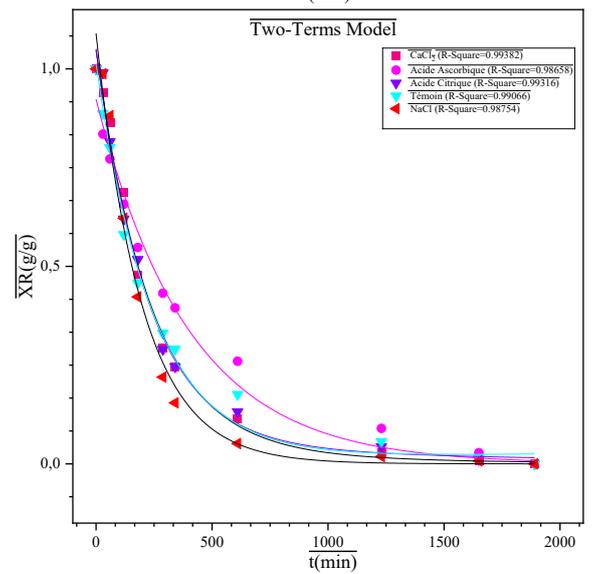
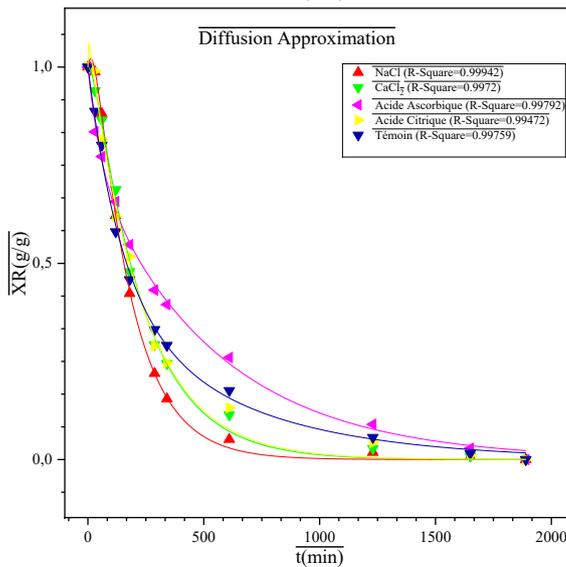
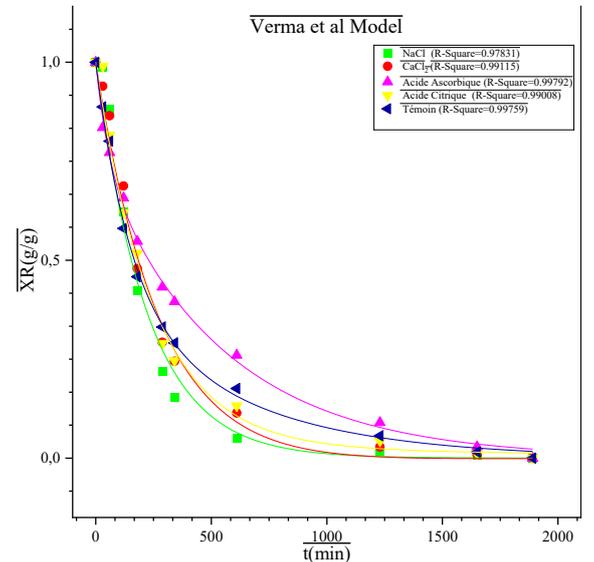
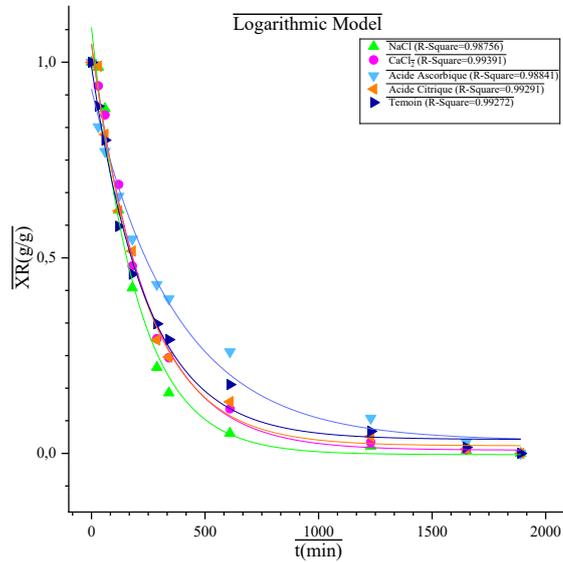
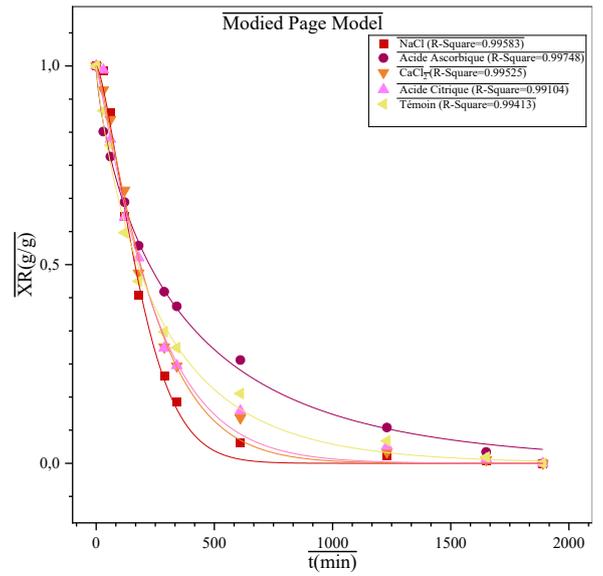
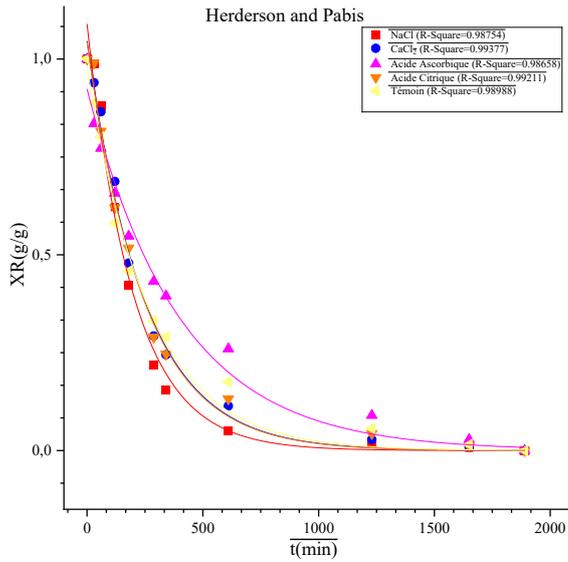


Figure IV.10. Colonnes de réhydratation de pommes.

L'analyse des colonnes de réhydratation des pommes révèle des différences significatives entre les traitements. Le glucose montre une réhydratation maximale, atteignant environ 14 g, ce qui indique son efficacité dans ce processus. Les traitements au saccharose et à l'acide citrique présentent également des résultats notables, bien que moins élevés. En revanche, les sels, comme le NaCl et le CaCl₂, ainsi que le témoin, affichent des valeurs nettement inférieures, suggérant qu'ils ne favorisent pas la réhydratation des pommes. Ces résultats mettent en évidence l'importance des sucres dans l'optimisation de la réhydratation des fruits.

IV.1.2.4. Modélisation de la cinétique de séchage de pommes





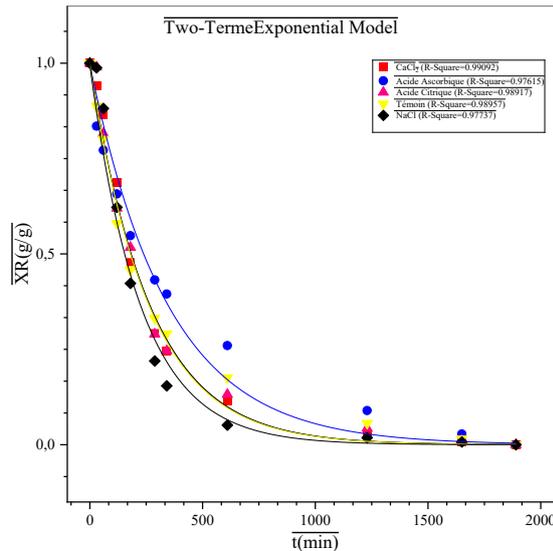


Figure IV.11. Les courbes de la variation de la faible teneur en eau en fonction du temps de séchage des pommes.

Des résultats statistiques ont été obtenus à partir des modèles de séchage solaire indirect et de prétraitement de fruit de pomme par : **prétraitement NaCl** lissé par le modèle **Diffusion Approximation** ($R^2 = 0,99942$), ($\chi^2 = 1,2 \times 10^{-4}$).

Tableau IV.5. Résultats statistiques des modèles de séchage solaire indirect et de prétraitement de fruit pomme.

N°	Les modèles	Les paramètres du modèle							La régression du modèle	
		K	A	B	K1	K2	C	N	R ²	X ²
1	Newton	0,004							0,978	0,0036
2	Page Model	$4,36 \times 10^{-4}$						1,445	0,996	$7,69 \times 10^{-4}$
3	Harderson and Pabis	0,005	1,090						0,988	0,0023
4	ModiedPageModel	0,0047						1,443	0,996	$7,698 \times 10^{-4}$
5	LogarithemModel	0,005	1,092				-0,0032		0,988	0,0026
6	MidilliKucuk	0,5948	1	$4,92 \times 10^{-5}$				11,845	-0,429	0,3390
7	Vermaetal		-4,810		0,0045	0,0045			0,978	0,0045
8	TwoTermeExponentialModel	1	0,004						0,977	0,0038
9	TwotermsModel		0,090	1	0,0050	0,0050			0,988	0,0026
10	Diffusion Approximation	0,0378	-0,320	0,165					0,999	$1,20 \times 10^{-4}$

IV.1.3. Effet du prétraitement sur les bananes séchées

IV.1.3.1. Analyse des images des tranches bananes séchées soumises à différents prétraitements.

- Pour l'étape 01 :



Blanchiment à l'eau chaude de $T=90\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant 3 min, puis Blanchiment à l'eau froide pendant 3 minutes.



Immersion dans une solution de glucose de concentration 15 % pendant 15 min à une température ambiante.



Immersion dans une solution de saccharose de concentration 15 % pendant 15 min à une température ambiante.



Immersion dans une solution de NaCl de concentration 2% pendant 10 min à une température ambiante.



Immersion dans une solution de CaCl_2 de concentration 2% pendant 10 min à une température ambiante.



Immersion dans une solution d'acide citrique de concentration 2 % pendant 5 minutes à une température ambiante.



Immersion dans d'acide ascorbique de concentration 5 % pendant 15 min à une température ambiante.



Immersion dans une solution de mélange d'acide citrique 2% de concentration et saccharose 15% : pendant 10 min à une température ambiante.



Témoin (sans prétraitement).

Figure IV.12. Effet des différents prétraitements sur la qualité de bananes séchées dans un séchoir indirect (étape 01).

Les prétraitements ont amélioré la qualité des fruits comparés au témoin. Le **blanchiment** a réduit l'activité enzymatique [1]. Le **glucose** et le **saccharose** ont apporté douceur et protection texturale [4]. Le **CaCl₂** a renforcé la fermeté [2], tandis que l'**acide citrique** et l'**acide ascorbique** ont limité l'oxydation [3]. Le prétraitement combiné (**acide citrique + saccharose**) a montré un effet synergique, améliorant à la fois la couleur et la texture.

Pour l'étape 02 :

Après avoir obtenu les résultats de l'étape 01, nous avons d'abord sélectionné les meilleurs prétraitements. Ensuite, nous avons fait varier (augmentation ou diminution) la concentration et la durée d'immersion pour chaque prétraitement. Ces conditions expérimentales sont résumées dans la figure suivante :



Immersion dans une solution CaCl₂ de concentration 2% pendant 5 min à une température ambiante.



Immersion dans une solution de NaCl de concentration 3% pendant 5 min à une température ambiante.



Immersion dans d'acide citrique de concentration 3% pendant 5 min à une température ambiante.



Immersion dans d'acide citrique de concentration 1% pendant 5 min à une température ambiante



Immersion dans solution de mélange d'acide citrique 2 % et CaCl_2 2% à 5 min à une température ambiante



Immersion dans une solution de mélange d'acide citrique de concentration 1 % et saccharose 15% à 8 min à une température ambiante

Témoin (sans prétraitement).

Figure IV.13. Effet des différents prétraitements sur la qualité de bananes séchées dans un séchoir indirect (étape 02).

Les prétraitements appliqués ont montré des effets variables sur la qualité des fruits séchés, Le NaCl et le CaCl_2 ont amélioré la fermeté [2]. L'**acide citrique** a réduit le brunissement enzymatique, avec un effet plus marqué à 3 % [3]. Les combinaisons (**acide citrique + saccharose**) et (**acide citrique + CaCl_2**) ont présenté des effets synergiques sur la couleur et la texture. Le **témoin** a montré les altérations les plus importantes.

IV.1.3.2. La teneur en eau initiale de bananes

Tableau IV.6. La teneur en eau initiale à base humide (W_0) et à base sèche (X) de bananes.

Bananes	M_h	M_s	W_0 (%)	X
Echantillon 1	23,193	5,461	76,4	3,247
Echantillon 2	17,965	4,099	77,1	3,382
Echantillon 3	22,857	5,138	77,5	3,448
		La moyenne	77,0	3,359

IV.1.3.3. Cinétique de séchage des bananes

Lorsque la banane est traitée et placée dans un séchoir solaire indirect, sa teneur en eau est surveillée jusqu'à ce qu'elle soit complètement sèche.

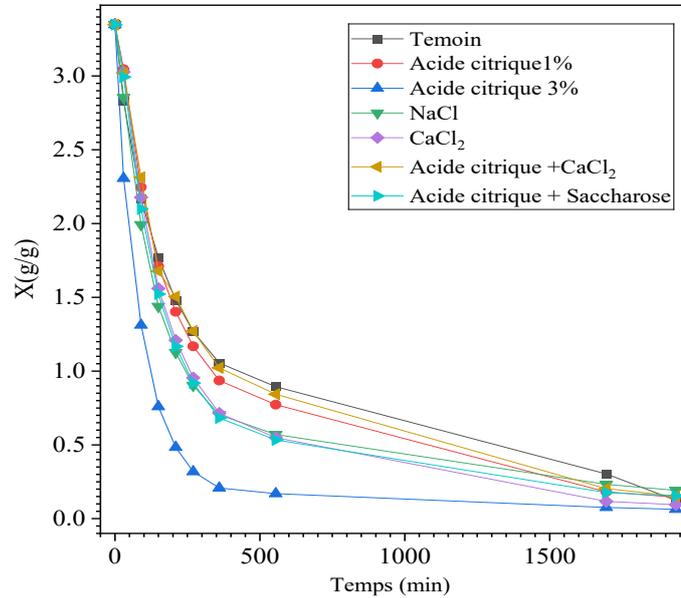


Figure IV. 13. Variation de la teneur en eau (base sèche) des fraises en fonction du temps de séchage.

La surveillance à l'aide de la courbe de la Contenu en eau le permet de connaître les différentes phases subies par la banane pendant le procédé de séchage, Ainsi, l'action de l'acide citrique et 3 % provoque une perte d'eau très rapide car les valeurs de contenu en eau sont significativement plus basses dès les premières heures. Contrairement aux autres traitements qui révèlent un procédé de séchage lent, les traitements témoins, ceux de l'acide citrique et 1 %, du chlorure de sodium, et des mélanges ; saccharose +acide citrique, et CaCl₂+ acide citrique assure une même cause de perte, Ainsi, le procédé de dessèchement peut varier de l'efficacité en fonction du traitement, donc la méthode associée de l'acide citrique et sel ou sucre pourrait réduire le taux de déshydratation que l'acide seul.

IV.1.3.4. Réhydratation des bananes

Tableau IV.7. Résultats de la réhydratation de bananes :

Tempe	mAcide citrique+CaCl ₂	mAcide citrique + saccharose	mAcide citrique 3%	mNaCl	mCaCl ₂	mTémoin
t=0	2,615	2,599	2,527	2,501	2,698	2,577
t=60min	5,224	5,278	5,456	5,402	5,305	5,074
t=120min	5,972	6,282	6,544	6,128	6,122	6,113
t=180min	6,299	6,630	6,780	6,747	6,417	6,516

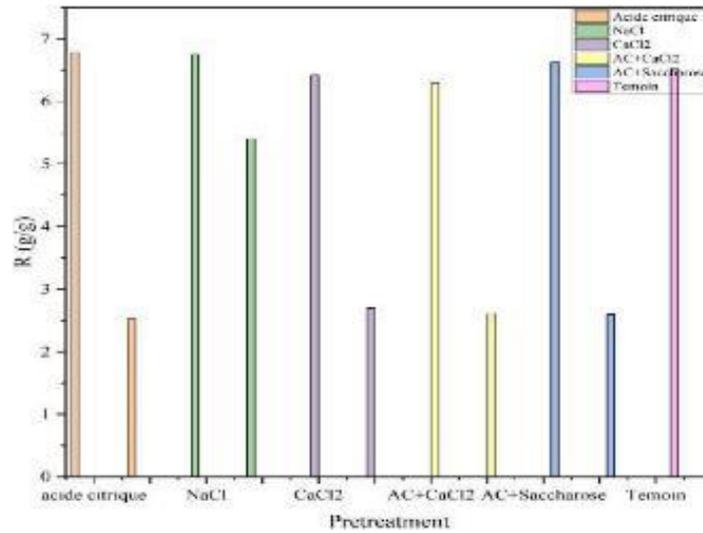
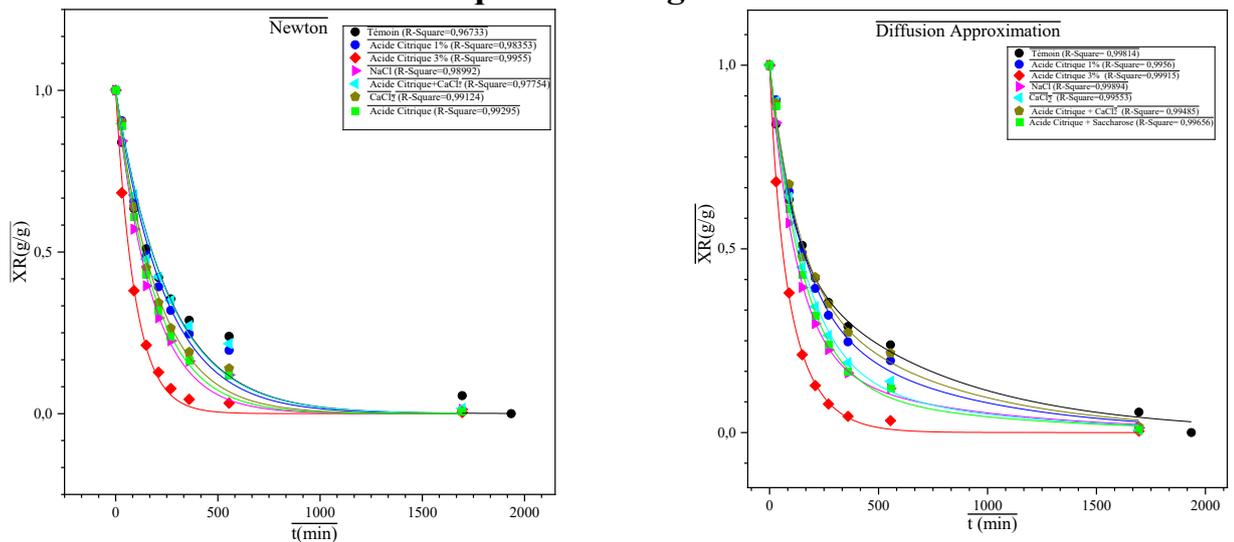
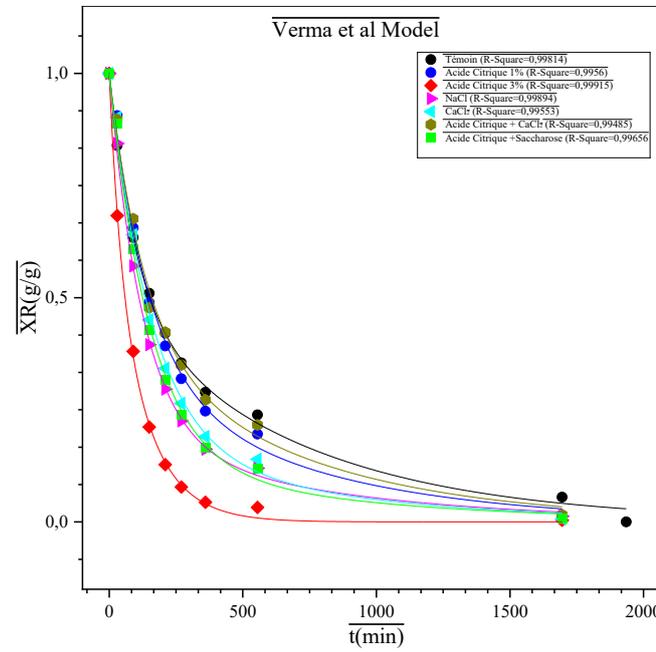
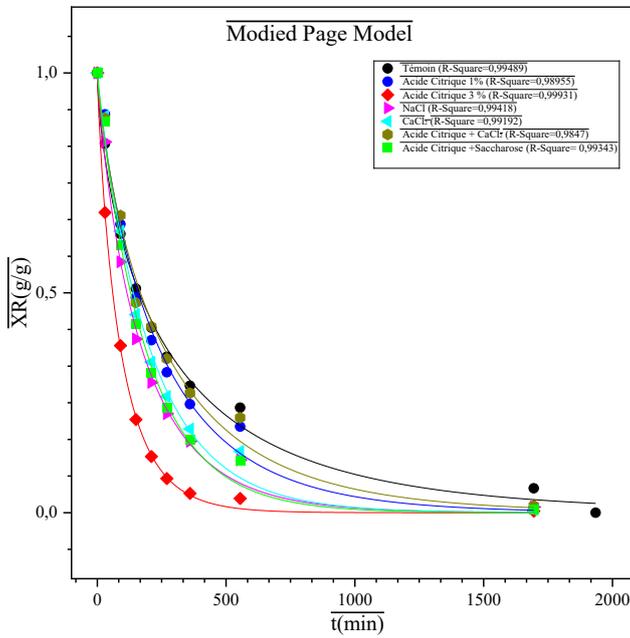
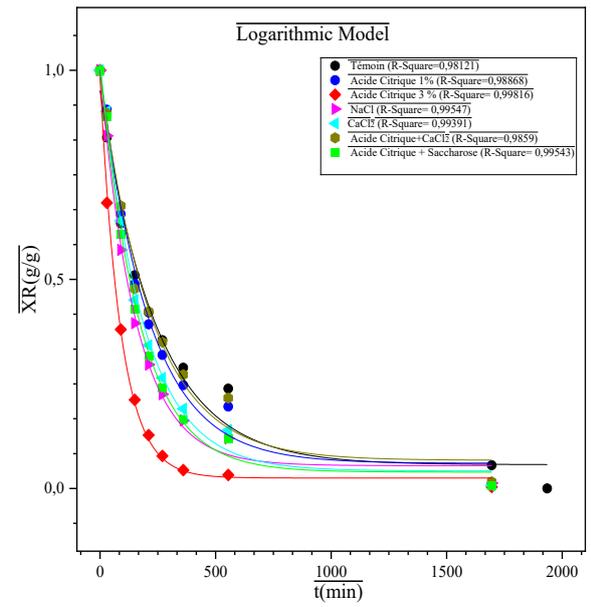
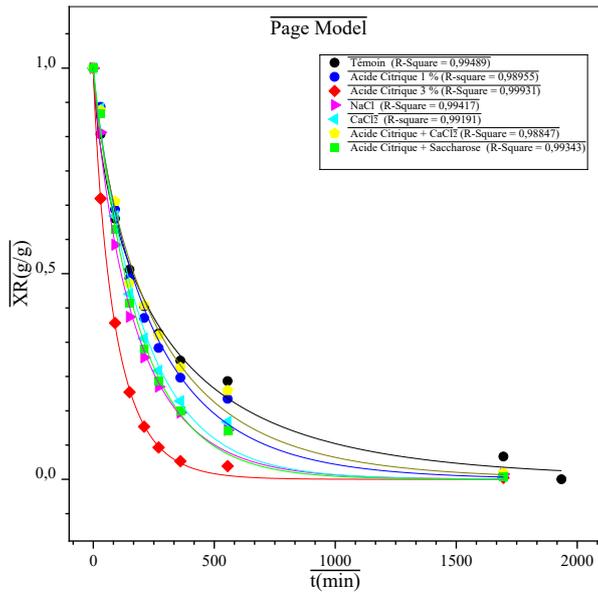


Figure IV. 14. Colonnes de réhydratation de banane.

L'analyse des colonnes de réhydratation des bananes montre que les traitements au CaCl_2 et à l'acide citrique sont les plus efficaces, atteignant des niveaux de réhydratation autour de 6 g, Les combinaisons de traitements, comme AC + CaCl_2 et AC + saccharose, affichent également des valeurs compétitives, suggérant un effet synergique, En revanche, le témoin présente des résultats inférieurs, tandis que le traitement au NaCl n'a pas significativement amélioré la réhydratation, Ces résultats soulignent l'importance des solutions acides et salines pour optimiser la réhydratation des bananes.

IV.1.3.5. Modélisation de la cinétique de séchage de bananes





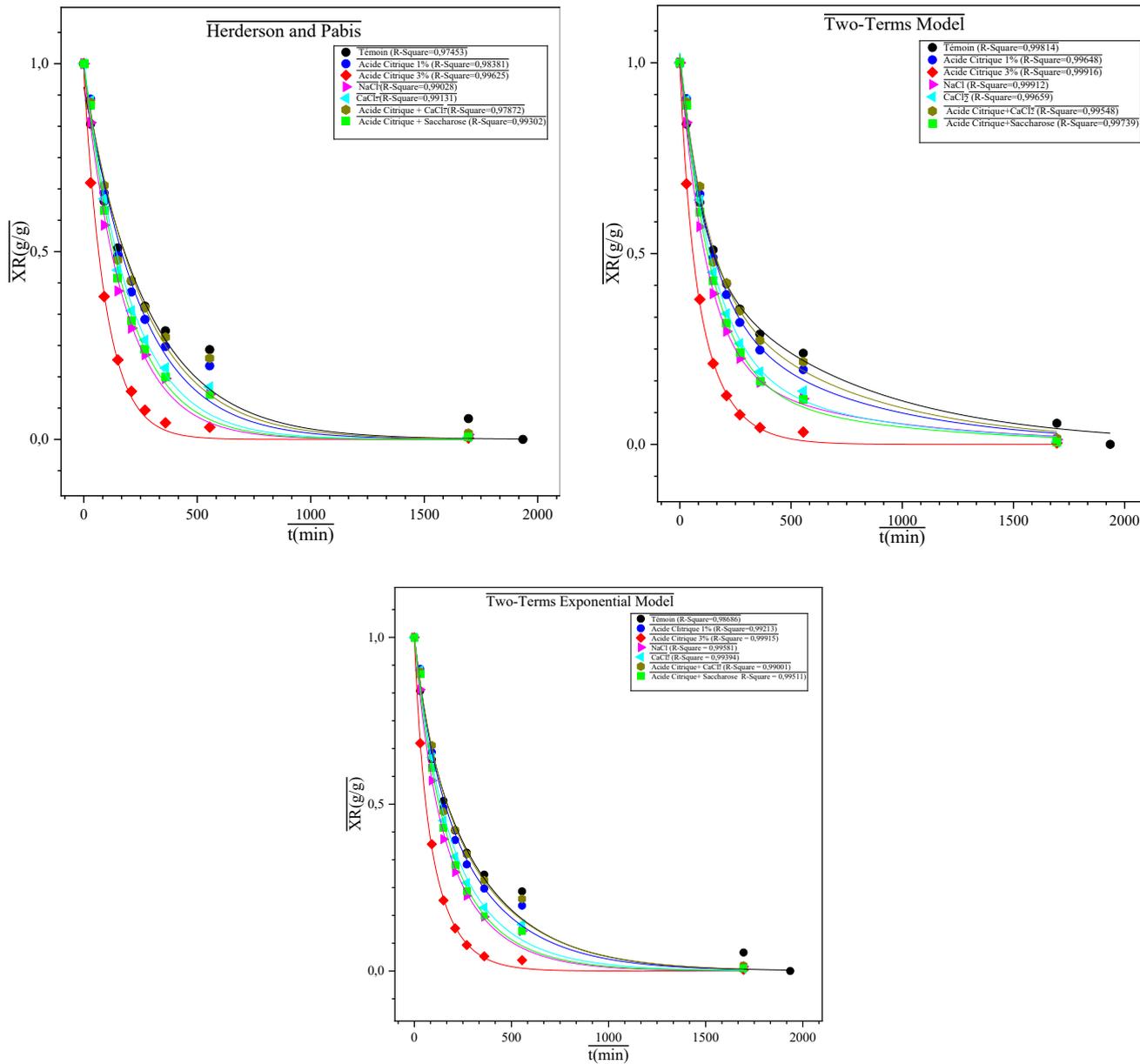


Figure IV. 15. Les courbes de la variation de la faible teneur en eau en fonction du temps de séchage des bananes.

Des résultats statistiques ont été obtenus à partir des modèles de séchage solaire indirect et de prétraitement de fruit de banane par : **prétraitement Acide citrique 3%** lissées par le modèle **Page Model et Modified Page** ($R^2 = 0,99931$), ($\chi^2 = 9,36 \times 10^{-5}$).

Tableau. IV.8. Résultats statistiques des modèles de séchage solaire indirect et de prétraitement de fruit banane :

N°	Les modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		K	A	B	K1	K2	c	N	R ²	X ²
1	Newton	0,011	\	\	\	\	\	\	0,996	5,354E-4
2	Page Model	0,021	\	\	\	\	\	0,859	0,999	9,37E-5
3	Harderson and Pabis	0,010	0,976	\	\	\	\	\	0,996	5,10E-4

4	ModiedPageModel	0,011	\	\	\	\	\	0,859	0,999	9,36E-5
5	LogarithemModel	0,011	0,959	\	\	\	0,0251	\	0,998	2,92E-4
6	MidilliKucuk	22,417	1	5,04E-5	\	\	\	46,793	0,294	0,1344
7	Vermaetal	\	0,673	\	0,0078	0,0247	\	\	0,999	1,34E-4
8	TwoTermeExponentialModel	0,026	0,307	\	\	\	\	\	0,999	1,15E-4
9	TwotermsModel	\	0,636	0,362	0,0076	0,0228	\	\	0,999	1,60E-4
10	Diffusion Approximation	0,025	0,322	0,313	\	\	\	\	0,999	1,34E-4

IV.1.4. Effet du prétraitement sur les oignons séchés

IV.1.4.1. Analyse des images des tranches d'oignons séchés soumises à différents prétraitements.



Immersion dans une solution d'acide citrique de concentration 3% pendant 10 minutes à une température ambiante.



Immersion dans une solution mélange d'acide citrique de concentration 3% et CaCl₂ 5 % pendant 15 minutes à une température ambiante.



Immersion dans une solution de NaCl de concentration 5% pendant 15 minutes à une température ambiante.



Immersion dans une solution de CaCl₂ de concentration 5% pendant 15 min à une température ambiante.



Immersion dans une solution d'acide ascorbique de concentration 3 % pendant 10 minutes à une température ambiante.



Immersion dans une solution mélange d'acide citrique 3 % et 5 % NaCl pendant 15 min à une température ambiante.



Immersion dans une solution d'acide ascorbique de concentration 3% et 5% CaCl_2 pendant 15 minutes à une température ambiante.

Témoin (Sans prétraitement)

Figure IV.16. Effet des différents prétraitements sur la qualité d'oignons séchés dans un séchoir indirect.

Les prétraitements ont permis d'améliorer la qualité de l'oignon séché par rapport au témoin. L'**acide citrique** a limité le brunissement enzymatique [3], tandis que le **CaCl_2** a renforcé la fermeté des tissus [2]. L'**acide ascorbique** a agi comme antioxydant en préservant la couleur. Les combinaisons (acide citrique + CaCl_2 , acide ascorbique + CaCl_2) ont eu des effets synergiques, maintenant à la fois la texture et la couleur. Le **témoin** a présenté les dégradations les plus marquées.

IV.1.4.2. La teneur en eau initiale d'oignons

Tableau. IV.9. La teneur en eau initiale à base humide (W_0) et à base sèche (X) de bananes.

Oignons	M_h	M_s	W_0 (%)	X
Echantillon 1	29,545	2,321	92,14	11,729
Echantillon 2	33,537	2,648	92,10	11,665
Echantillon 3	39,498	3,124	92,09	11,643
		La moyenne	92,11	11,679

IV.1.4.3. Cinétique de séchage des oignons

Lorsque l'oignon est traité et placée dans un séchoir solaire indirect, sa teneur en eau est surveillée jusqu'à ce qu'elle soit complètement sèche.

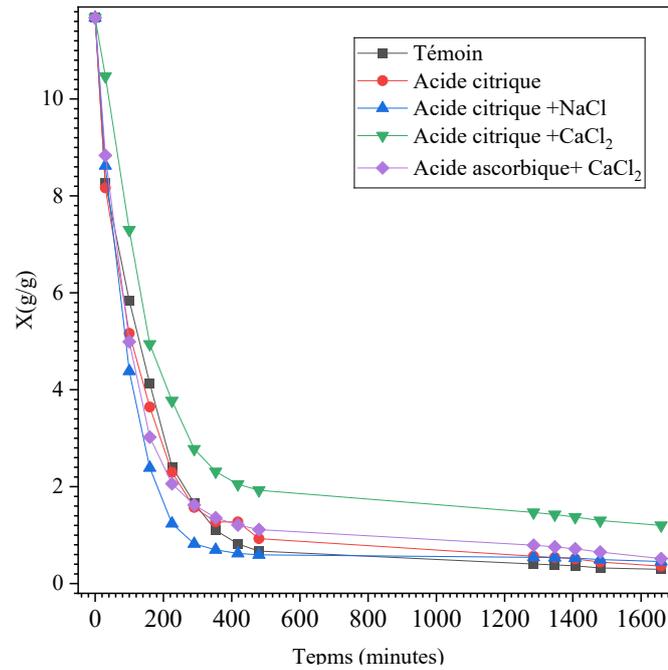


Figure IV. 17. Variation de la teneur en eau (base sèche) d'oignons en fonction du temps de séchage.

Le suivi de la perte d'eau permet de constater que les traitements à base d'acide citrique en présence du NaCl, accélèrent fortement le processus de séchage de l'oignon. En revanche, les associations avec le CaCl₂ notamment avec de l'acide citrique ou de l'acide ascorbique ont un effet protecteur sur la structure cellulaire, celle-ci va retenir l'eau plus longtemps et le séchage est ralenti. Ce type d'étude est indispensable afin de connaître les prétraitements à appliquer avant le séchage dans le cas de l'industrie agroalimentaire.

IV.1.4.4. Réhydratation d'oignons

Tableau. IV.10. Résultat de la réhydratation d'oignons

Temps	M _{Témoïn} (g)	M _{Acide Citrique+ NaCl} (g)	M _{Acide Ascorbique+CaCl₂} (g)	M _{Acide Citrique + CaCl₂} (g)
t=0	1,2114	1,3201	1,6902	1,2625
t=60min	4,4479	3,2125	4,4170	2,8204
t=120min	5,4751	3,9112	5,0175	3,2820
t=180min	6,3160	4,6002	5,6691	3,7059
t=1440min	7,2700	5,2548	6,1811	4,4067

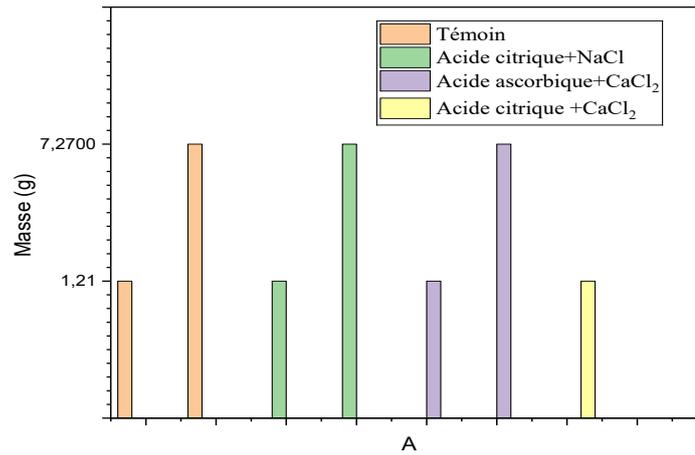
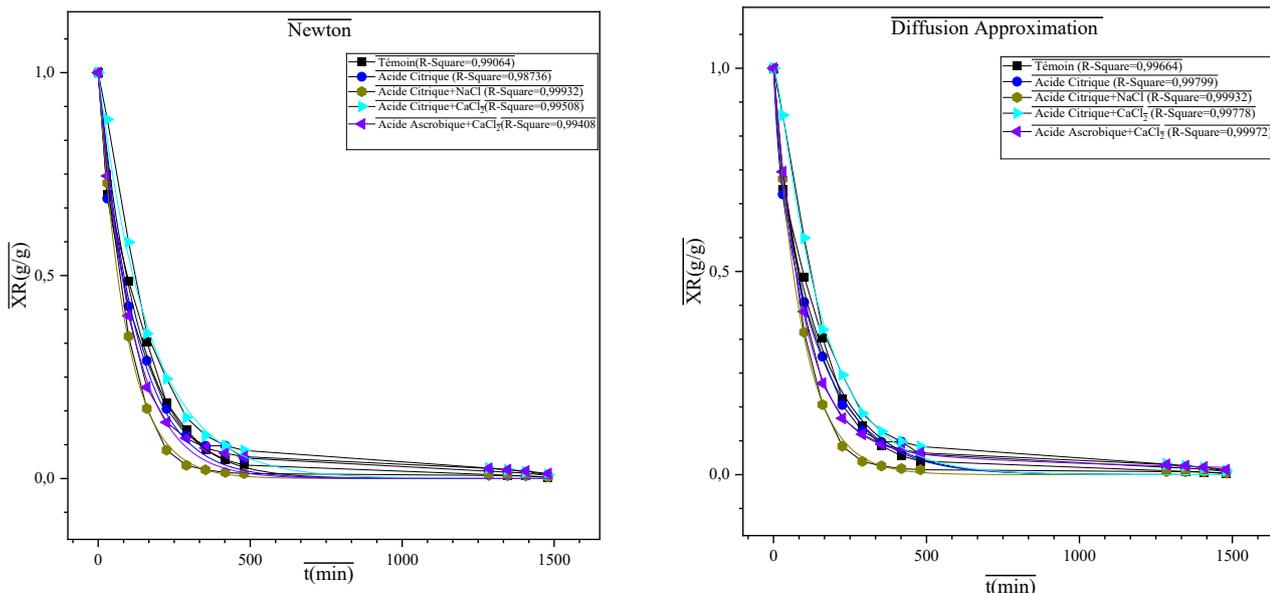
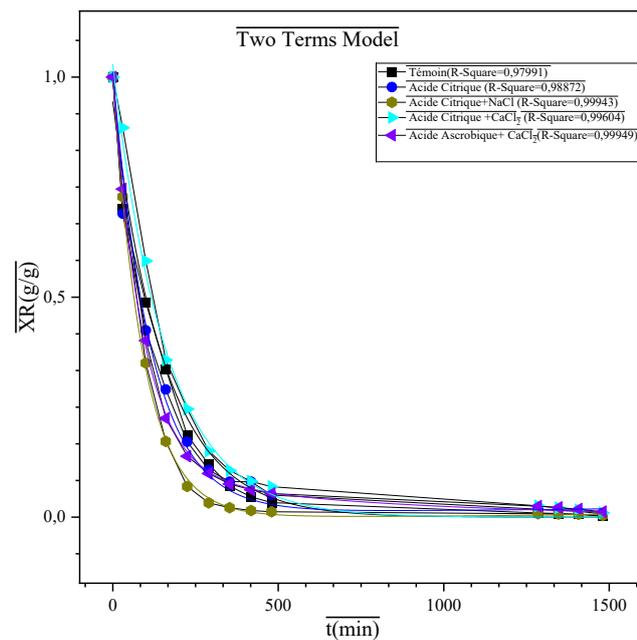
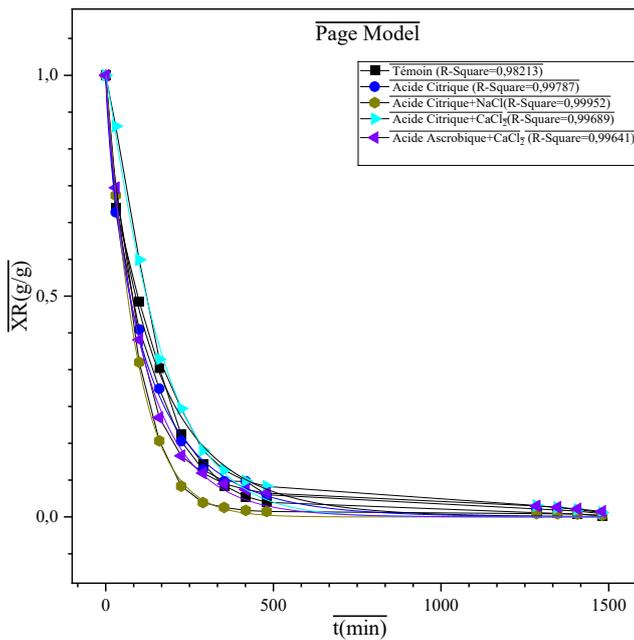
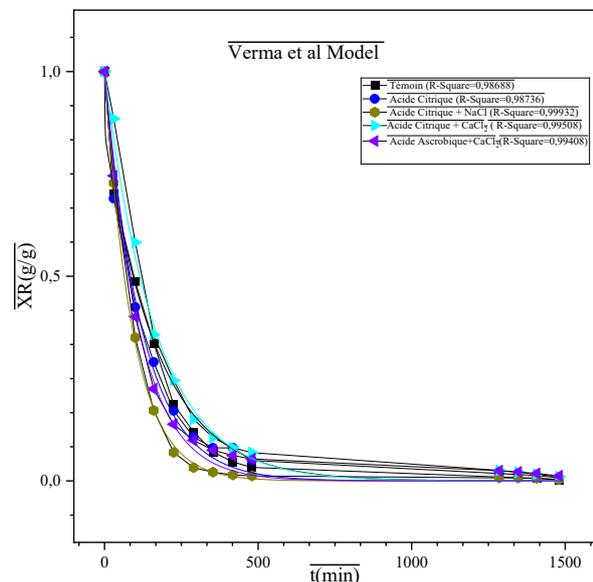
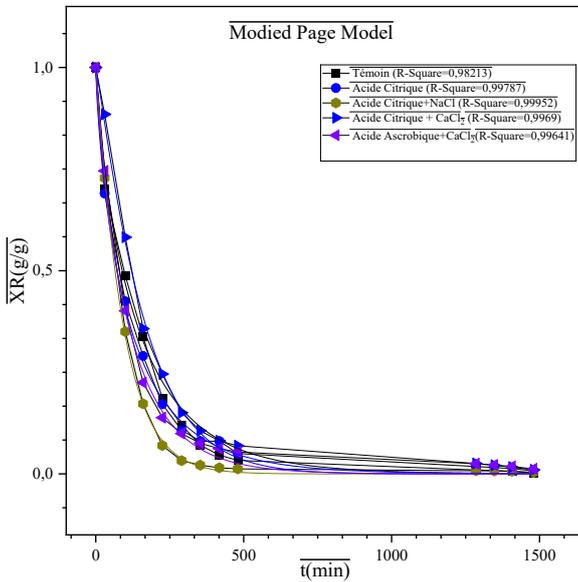
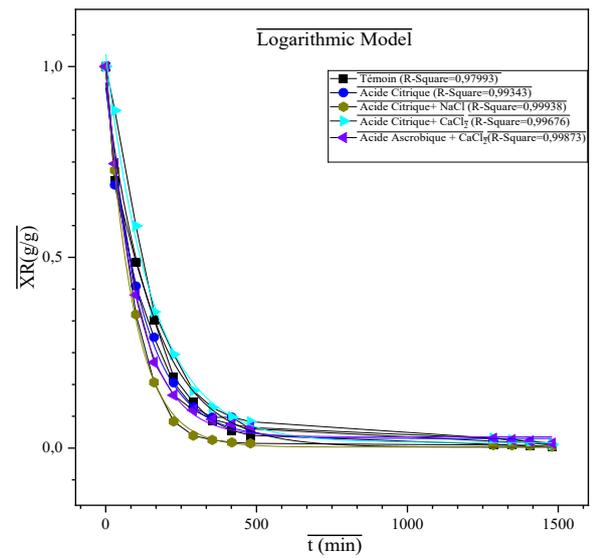
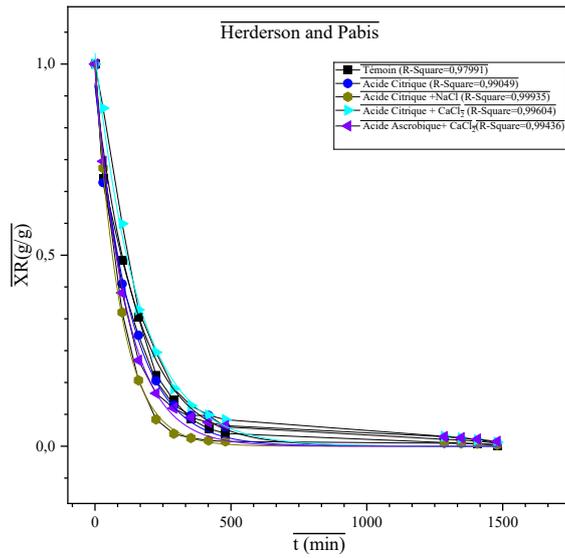


Figure IV. 17. Colonnes de réhydratation d'oignon.

Pour ce qui est des colonnes de réhydratation des oignons, il y a des différences nettes entre les traitements. L'acide citrique combiné au CaCl₂ est celui qui a permis la meilleure réhydratation des oignons avec 7,27 g, on peut donc en conclure qu'il est un des plus efficaces. L'acide citrique seul et l'acide ascorbique combiné au CaCl₂ ont aussi donné de bons résultats, même s'ils étaient moins bons. Par contre, le témoin et l'acide citrique combiné au NaCl ne sont pas très efficaces avec tous les deux des résultats autour de 1,21 g. On a donc vu au cours de ce travail que l'acide citrique combiné au CaCl₂ permet une bonne réhydratation des oignons alors que les sels ou le témoin ne sont pas très efficaces dans ce sens. Cela tend à montrer qu'il faut un traitement adapté pour améliorer la réhydratation.

IV.1.4.5. Modélisation de la cinétique de séchage d'oignons





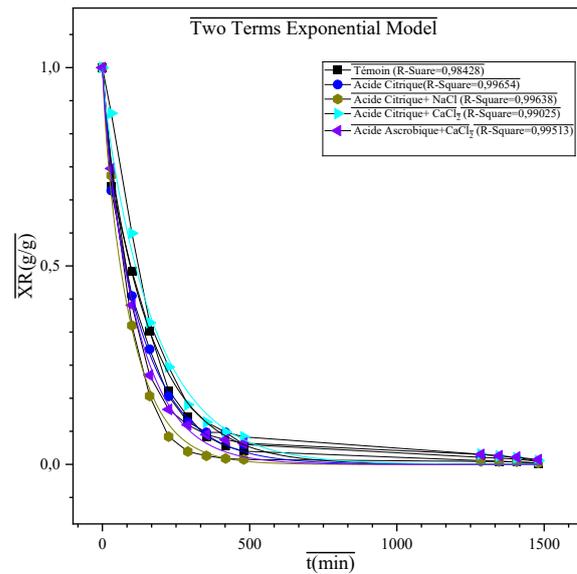


Figure IV. 18. Les courbes de la variation de la faible teneur en eau en fonction du temps de séchage des oignons.

Des résultats statistiques ont été obtenus à partir des modèles de séchage solaire indirect et de prétraitement de légume d'oignon : **prétraitement Acide Ascorbique + CaCl₂ lissées par le modèle Diffusion Approximation ((R² = 0,99972), (χ² = 3,31×10⁻⁵)).**

Tableau. IV.11. Résultats statistiques des modèles de séchage solaire indirect et de prétraitement légumes des oignons :

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		k	A	B	c	k1	k2	n	R ²	X ²
1	Newton	0,0088	-	-	-	-	-	-	0,9941	5,78×10 ⁻⁴
2	Page Model	0,0154	-	-	-	-	-	0,8862	0,9964	3,83×10 ⁻⁴
3	Herderson and Pabis	0,0087	0,9844	-	-	-	-	-	0,9944	6,01×10 ⁻⁴
4	Modied Page Model	0,0090	-	-	-	-	-	0,8825	0,9964	3,83×10 ⁻⁴
5	Logarithmic Model	0,0096	0,9648	-	0,0295	-	-	-	0,9987	1,48×10 ⁻⁴
6	Midilli-Kucuk	31,7499	1	4,10×10 ⁻⁵	-	-	-	57,6033	0,3214	0,08846
7	Verma et al Model	-	1	-	-	0,0088	0,1	-	0,9941	6,31×10 ⁻⁴
8	Two-Terme Exponential Model	0,1	0,0806	-	-	-	-	-	0,9951	4,75×10 ⁻⁴
9	Two-terms Model	-	0,9032	0,1	-	0,0111	0,0014	-	0,9995	5,49×10 ⁻⁵
10	Diffusion Approximation	0,0105	0,9295	0,0878	-	-	-	-	0,9997	3,31×10 ⁻⁵

IV.1.5. Effet du prétraitement sur les betteraves séchées

IV.1.5.1. Analyse des images des tranches des betteraves séchées soumises à différents prétraitements.

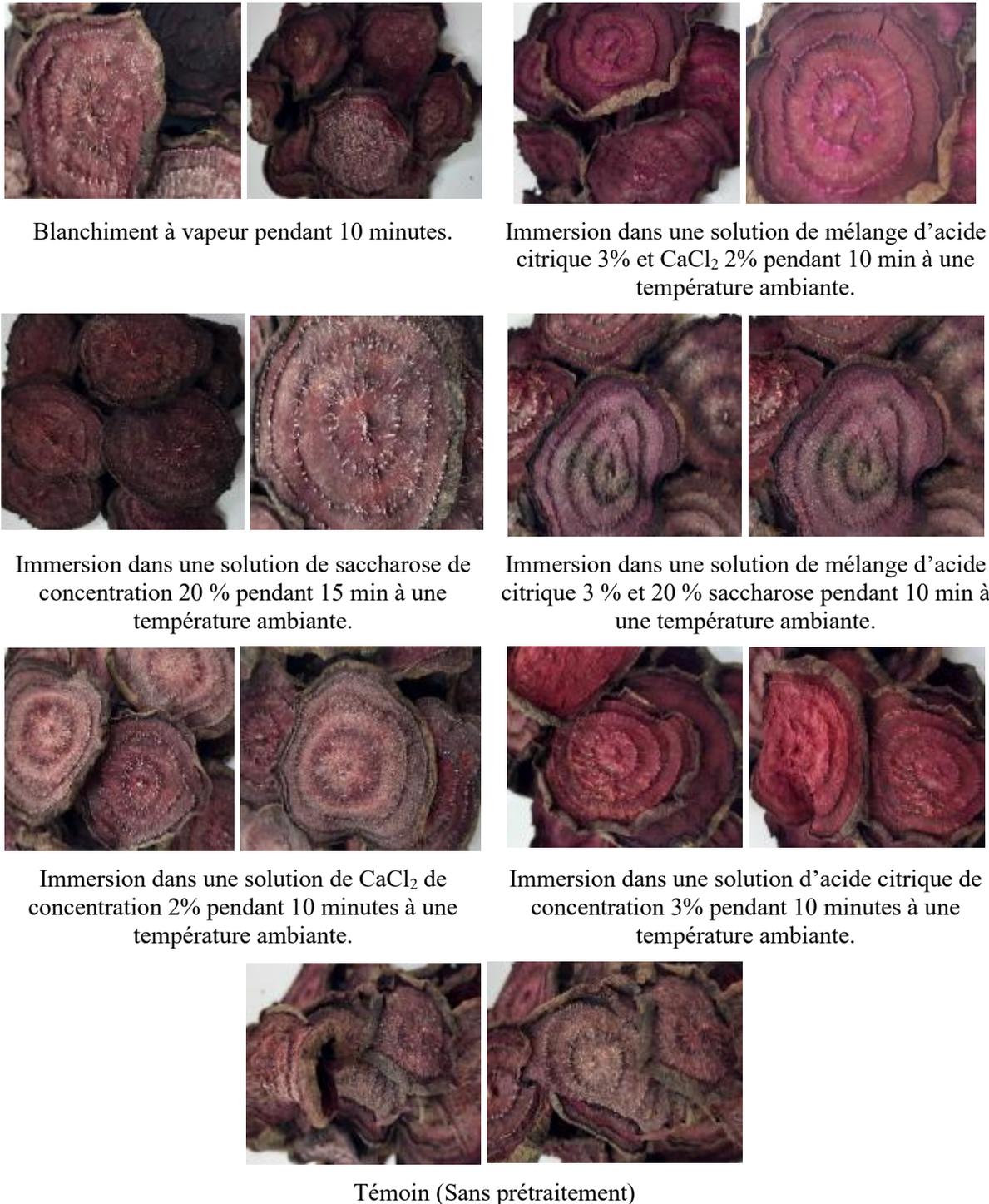


Figure IV.19. Effet des différents prétraitements sur la qualité de betteraves séchées dans un séchoir indirect.

Les différents prétraitements appliqués à la betterave avant séchage indirect ont montré des effets variés sur la qualité finale, Le blanchiment améliore la couleur mais peut entraîner des pertes nutritives [13]. L'acide citrique stabilise les pigments et limite le brunissement enzymatique, tandis que le CaCl_2 renforce la texture en préservant la fermeté [5]. L'ajout de saccharose favorise l'osmose, réduisant le rétrécissement et améliorant la douceur du produit

[6]. Les combinaisons (acide citrique + CaCl_2 ou saccharose) offrent les meilleurs compromis en termes de couleur, texture et goût. Le témoin présente la qualité la plus faible avec perte de couleur et texture molle.

IV.1.5.2. La teneur en eau initiale de betterave

Tableau. IV.12. La teneur en eau initiale à base humide (W_0) et à base sèche (X) de bananes.

Betterave	M_h	M_s	W_0 (%)	X
Echantillon 1	27,836	2,822	89,86	8,8639
Echantillon 2	27,041	2,771	89,75	8,7585
Echantillon 3	23,671	2,582	89,09	8,1676
La moyenne			89,56	8,5966

IV.1.5.3. Cinétique de séchage de betteraves

Lorsque la betterave est traitée et placée dans un séchoir solaire indirect, sa teneur en eau est surveillée jusqu'à ce qu'elle soit complètement sèche.

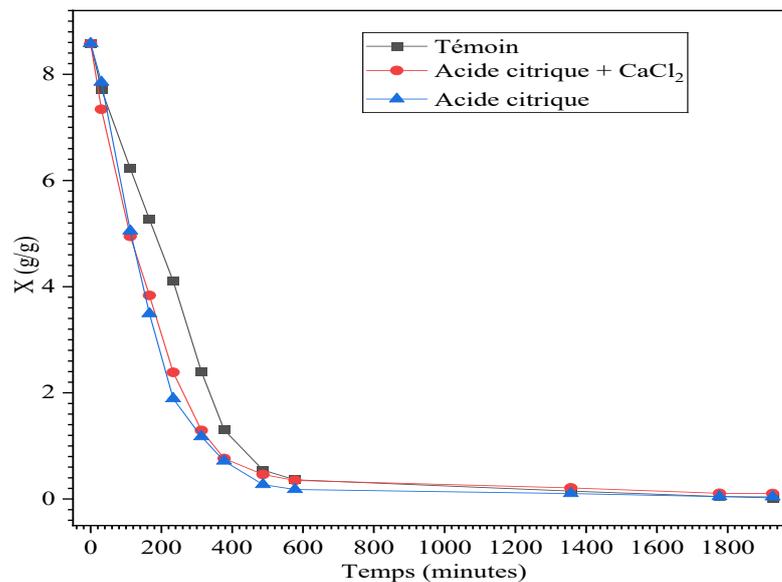


Figure IV.20. Variation de la teneur en eau (base sèche) de betteraves en fonction du temps de séchage.

À regarder la forme de la courbe de l'évolution de la teneur en eau des betteraves en fonction du temps de séchage, il en est ressorti que les traitements de l'acide citrique et du calcium ($\text{AC} + \text{CaCl}_2$) ont des profils de volumes d'eau semblables à celui du témoin au cours de la déshydratation permettant de suivre le même mouvement à la baisse. Alors que, la courbe du témoin reste constante montrant une perte d'eau nettement moins facile à obtenir. L'intérêt

des traitements chimiques se fait donc très ressentir pour l'optimisation du séchage des betteraves où certaines solutions permettent d'améliorer la réduction de l'humidité de façon très significative.

IV.1.5.4. Réhydratation des betteraves

Tableau IV. 13. Le résultat de la réhydratation de betteraves.

Temps	M _{Témoin}	M _{Acide citrique}	M _{Acide citrique +CaCl₂}
t=0	3	2,40	3,40
t=60 min	8,7536	8,1307	10,1921
t=120min	11,7620	11,7570	12,6760
t=180min	14,2550	13,4710	14,4360
t=1440min	16,5286	14,6614	16,2820

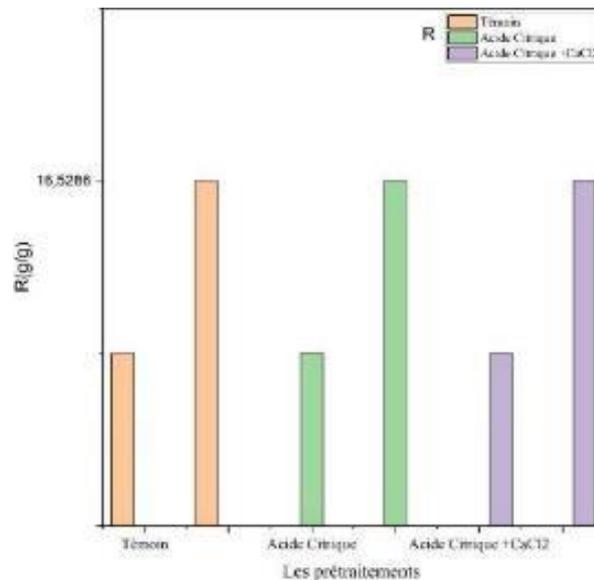
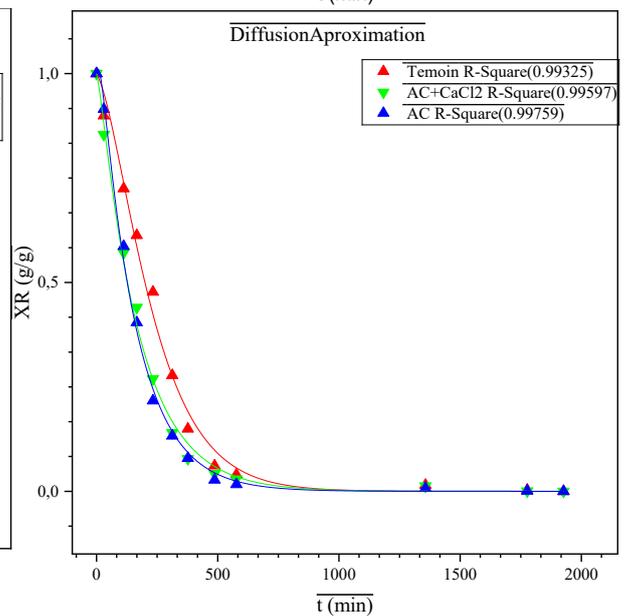
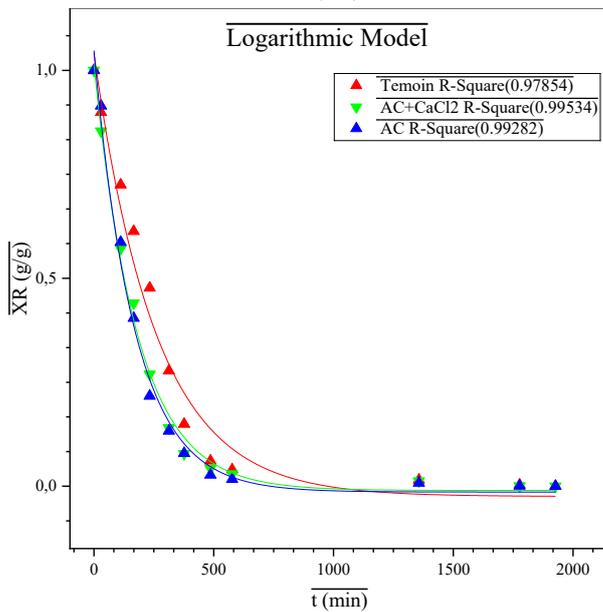
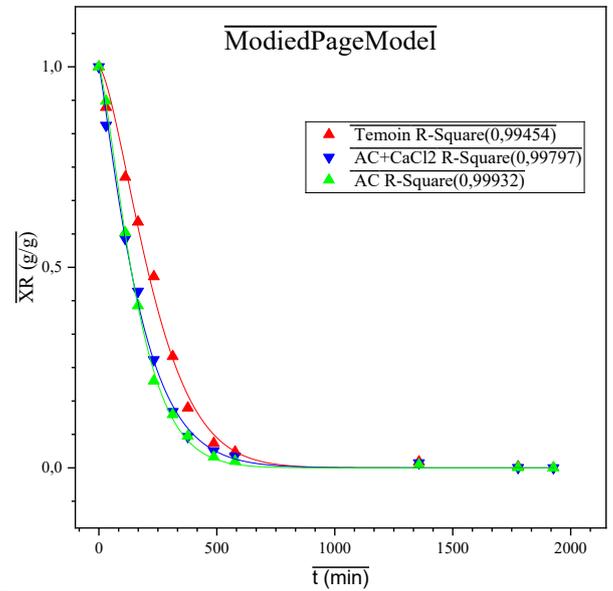
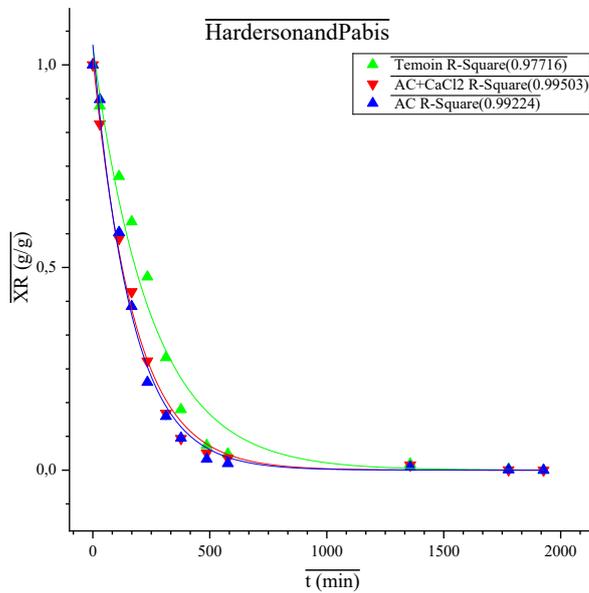
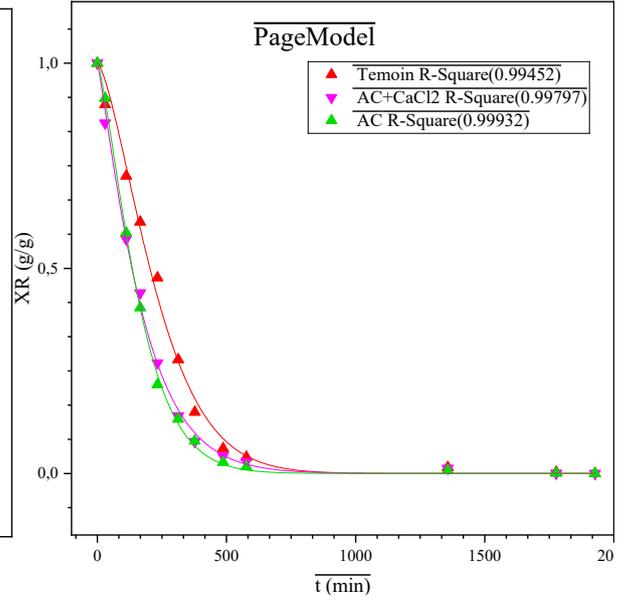
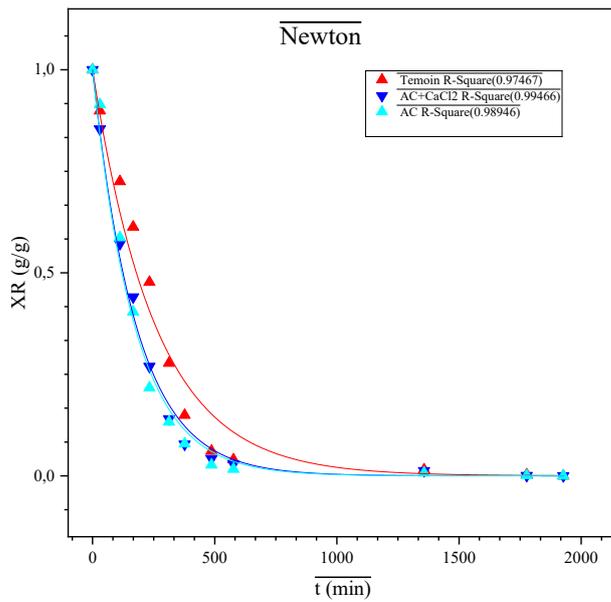


Figure IV.21. Colonnes de réhydratation de betterave.

L'analyse des colonnes de réhydratation des betteraves indique que le traitement avec l'acide citrique seul et la combinaison d'acide citrique avec CaCl₂ ont conduit à des niveaux de réhydratation élevés, atteignant près de 16,5 g. Le témoin présente des valeurs inférieures, soulignant l'impact positif des traitements acides sur la réhydratation. Cela suggère que l'acide citrique, seul ou en combinaison avec des sels, joue un rôle crucial dans l'amélioration de la capacité de réhydratation des betteraves. Ces résultats pourraient avoir des implications importantes pour le traitement et la conservation des betteraves.

IV.1.5.4. Modélisation de la cinétique de séchage de betteraves



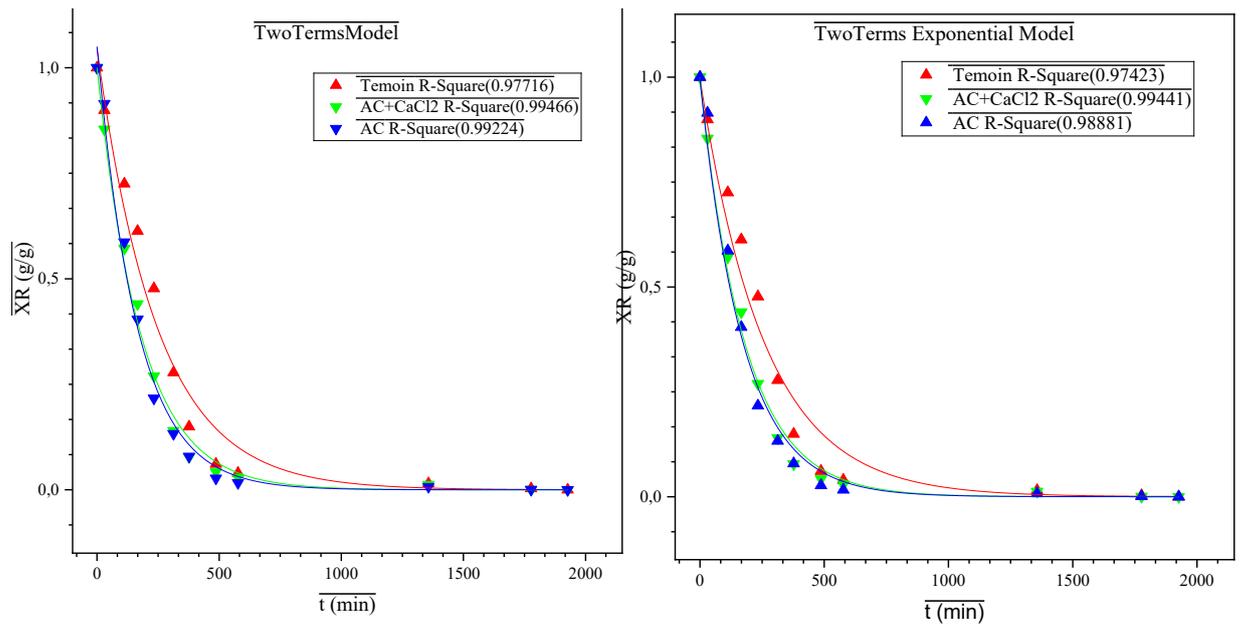


Figure IV.22. Les courbes de la variation de la faible teneur en eau en fonction du temps de séchage des betteraves.

Des résultats statistiques ont été obtenus à partir des modèles de séchage solaire indirect et de prétraitement de légume de betterave : prétraitement **Acide Citrique** lissé par le modèle **Modied Page Model** ($R^2= 0,99932$), ($\chi^2= 9,96 \times 10^{-5}$).

Tableau IV. 14. Résultats statistiques des modèles de séchage solaire indirect et de prétraitement de légume de betterave :

N°	Les modèles	Les paramètres du modèle							La régression du modèle	
		K	A	B	c	k1	k2	N	R ²	X ²
1	Newton	0,0058	-	-	-	-	-	-	0,9895	0,0014
2	Page Model	0,0010	-	-	-	-	-	1,3259	0,9993	1×10 ⁻⁴
3	Herderson and Pabis	0,0061	1,0502	-	-	-	-	-	0,9922	0,00113
4	Modied Page Model	0,0056	-	-	-	-	-	1,3201	0,9993	9,96×10 ⁻⁵
5	Logarithmic Model	0,0059	1,0619	-	-0,0141	-	-	-	0,9928	0,00117
6	Midilli-Kucuk	33,901	1	3,29×10 ⁻⁵	-	-	-	62,5726	0,0375	0,17575
7	Verma et al Model	-	- 2,1× 10 ¹²	-	-	0,1	0,1	-	0,3045	0,1016
8	Two-Terms Exponential	1	0,0058	-	-	-	-	-	0,9888	0,00149

	Model									
9	Two-Terms Model	-	1	1	-	0,0060	0,0061	-	0,9922	0,00126
10	Diffusion Approximation	0,0673	-0,1724	0,1	-	-	-	-	0,9976	$3,51 \times 10^{-4}$

IV.2. Conformité Sanitaire

IV.2.1. Analyses physico-chimiques

1. Pour fraises

Tableau IV. 15. Résultats de quelques analyses physico-chimiques de fraises.

Analyse	Témoin	NaCl	AC	Glucose	Saccharose	CaCl ₂	Normes
PH	4,21	3,95	3,96	4,10	4,13	3,60	4,5-7
Brix	7,75	5,2	6	7,7	7,2	7,05	10-20
Aw	0,251	0,246	0,245	0,24	0,247	0,249	0,2-0,5
Humidité Résiduelle(%)	7,69	6,94	8,21	7,32	7,13	9,33	<10%

n=3

L'analyse révèle une acidification notable des échantillons traités par NaCl, acide citrique (AC) et CaCl₂, dont le pH reste inférieur à celui du témoin, ce qui favorise la stabilité microbiologique [7]. La teneur en Brix diminue après prétraitement au NaCl et AC, probablement par lessivage des sucres solubles, tandis qu'elle reste stable pour le glucose et le saccharose, montrant une possible rétention ou imprégnation des sucres ajoutés [6].

L'activité de l'eau (Aw) est réduite pour tous les échantillons, garantissant une meilleure conservation, avec des valeurs respectant les normes pour les produits déshydratés [8]. L'humidité résiduelle est inférieure à 10 %, excepté pour CaCl₂ (9,33 %), ce qui confirme l'efficacité du séchage indirect.

2. Pour pommes :

Tableau IV. 16. Résultats de quelques analyses physico-chimiques de pommes.

ANALYSE	TEMOIN	NAACL	AC	GLUCOSE	SACCHAROSE	CACL ₂	NORMES
PH	4,965	4,17	4,525	4,445	4,555	4,805	4,5-7
BRIX	7	7,55	8,75	8,05	10,3	7,65	10-20
AW	0,264	0,271	0,269	0,265	0,279	0,258	0,2-0,5
HUMIDITE RESIDUELLE (%)	6,95	7,55	6,17	7,47	7,48	6,52	<10%

n=3

Les prétraitements de la pomme avec acide citrique et NaCl ont réduit le pH, améliorant la stabilité microbienne [7], Le Brix a augmenté avec le saccharose et le glucose, indiquant une absorption osmotique des sucres [6], L'Aw est restée dans les normes de sécurité (<0,5), la plus faible avec CaCl₂, favorisant une meilleure conservation [8], L'humidité résiduelle est inférieure à 10 % pour tous les échantillons, respectant les normes du Codex Alimentarius (2009).

3. Pour bananes :

Tableau IV. 17. Résultats de quelques analyses physico-chimiques de bananes.

Analyse	Témoin	NaCl	AC	AC+CaCl ₂	AC+Sacchar	CaCl ₂	Norms
PH	5,64	5,66	5,06	4,915	5,145	5,34	4,5-7
Brix	5,9	6,8	5,95	5,9	5,95	6,45	10-20
Aw	0,296	0,331	0,303	0,31	0,313	0,326	0,2-0,5
Humidité Résiduelle(%)	8,11	8,33	9,26	9,62	7,59	7,30	<10%

n=3

Les prétraitements de la Banane à l'acide citrique et ses combinaisons ont réduit le pH, ce qui favorise la stabilité microbienne [7]. Le Brix reste faible et en dessous des normes, sauf légère hausse avec NaCl et CaCl₂, reflétant une faible concentration en sucres solubles [6]. L'Aw demeure conforme (<0,5), assurant une bonne conservation [8]. L'humidité résiduelle reste inférieure à 10 %, sauf pour AC+CaCl₂ (9,62 %), ce qui reste acceptable selon les normes (Codex Alimentarius, 2009).

4. Pour oignons :

Tableau IV. 18. Résultats de quelques analyses physico-chimiques de oignons.

Analyse	Témoin	NaCl+Ac	AC+CaCl ₂	AS+CaCl ₂	Norms
PH	5	3,89	3,405	4,24	4,5-7
Brix	8,1	7,65	8,35	8,2	10-20
Aw	0,259	0,273	0,264	0,258	0,2-0,5
Humidité Résiduelle (%)	9,31	11,29	10,68	10,11	<10%

n=3

Les prétraitements de l'oignon ont significativement abaissé le pH, surtout avec AC+CaCl₂, améliorant la stabilité microbienne [7]. Le Brix reste faible par rapport aux normes, indiquant peu d'accumulation de solides solubles [6]. L'Aw est conforme (<0,5), favorable à la conservation [8]. Toutefois, l'humidité résiduelle dépasse 10 % dans tous les cas sauf pour le témoin, ce qui pourrait affecter la stabilité à long terme selon les normes du Codex Alimentarius (2009).

5. Pour betteraves :

Tableau IV. 19. Résultats de quelques analyses physico-chimiques de betteraves.

Analyse	Témoin	NaCl+Ac	AC+CaCl ₂	AS+CaCl ₂	Norms
PH	5	3,89	3,405	4,24	4,5-7
Brix	8,1	7,65	8,35	8,2	10-20
Aw	0,259	0,273	0,264	0,258	0,2-0,5
Humidité Résiduelle(%)	9,31	11,29	10,68	10,11	<10%

n=3

Les prétraitements ont réduit le pH, notamment avec AC+CaCl₂, favorisant la stabilité microbienne [7]. Le Brix reste inférieur aux normes, traduisant une faible concentration en sucres solubles [6], L'Aw est conforme (<0,5), garantissant la sécurité microbiologique [8]. Cependant, l'humidité résiduelle dépasse 10 % sauf pour le témoin, ce qui peut affecter la stabilité du produit selon le Codex Alimentarius (2009).

IV.2.2. Analyses microbiologiques

Toutes les analyses microbiologiques ont été effectuées à partir d'une solution mère préparée avec de la peptone tamponnée, conformément aux protocoles standard.



Figure IV.23. Produits séchés sélectionnés pour l'analyse microbiologique – Solutions mères préparées dans la peptone tamponnée.

IV.2.2.1. Résultat du dénombrement de la flore fongique (levures et moisissures)

Le dénombrement de la flore fongique (levures et moisissures) a été effectué sur milieu PDA, avec une incubation à 30 °C pendant 2 à 3 jours.

Les résultats sont exprimés en unités formant colonies par gramme (UFC/g). Seules les boîtes contenant entre 30 et 300 colonies ont été retenues pour le calcul, conformément aux normes microbiologiques.

Tableau IV. 20. Résultats de dénombrement sur milieu PDA.

Produit	Dilution	Volumeensemencé (ml)	Nombre de colonies	UFC/g (moyenne calculée)
Banane	10^{-3}	1,0 ml	115, 108	$1,1 \times 10^4$ UFC/g
Fraise	10^{-3}	1,0 ml	92, 98	$9,5 \times 10^3$ UFC/g
Pomme	10^{-3}	1,0 ml	85, 80	$8,3 \times 10^3$ UFC/g
Oignon	10^{-3}	1,0 ml	43, 42	$4,2 \times 10^3$ UFC/g
Betterave	10^{-3}	1,0 ml	72, 68	$7,0 \times 10^3$ UFC/g

Remarque : Les valeurs UFC/g correspondent à la moyenne des deux boîtes à la dilution 10^{-3} ,

Conformité aux seuils indicatifs :

Selon les critères microbiologiques recommandés pour les produits végétaux secs non stérilisés (FCD, 2019) : Levures : $\leq 2,5 \times 10^4$ UFC/g, Moisissures : $\leq 5 \times 10^4$ UFC/g

Tous les échantillons analysés sont largement conformes à ces seuils.

Analyse par produit :

Banane ($1,1 \times 10^4$ UFC/g) : Charge fongique la plus élevée, vraisemblablement liée à sa forte teneur en sucres fermentescibles et à sa texture qui favorise la rétention d'humidité.

Fraise ($9,5 \times 10^3$ UFC/g) : Charge modérée, la surface fragile et poreuse du fruit peut favoriser l'adhésion des spores malgré le séchage.

Pomme ($8,3 \times 10^3$ UFC/g) : Résultat comparable à celui de la fraise, probablement lié à une teneur en eau initialement plus élevée.

Betterave ($7,0 \times 10^3$ UFC/g) : Contamination fongique faible, possiblement atténuée par la présence de pigments naturels (bétalaïnes) à effet antimicrobien.

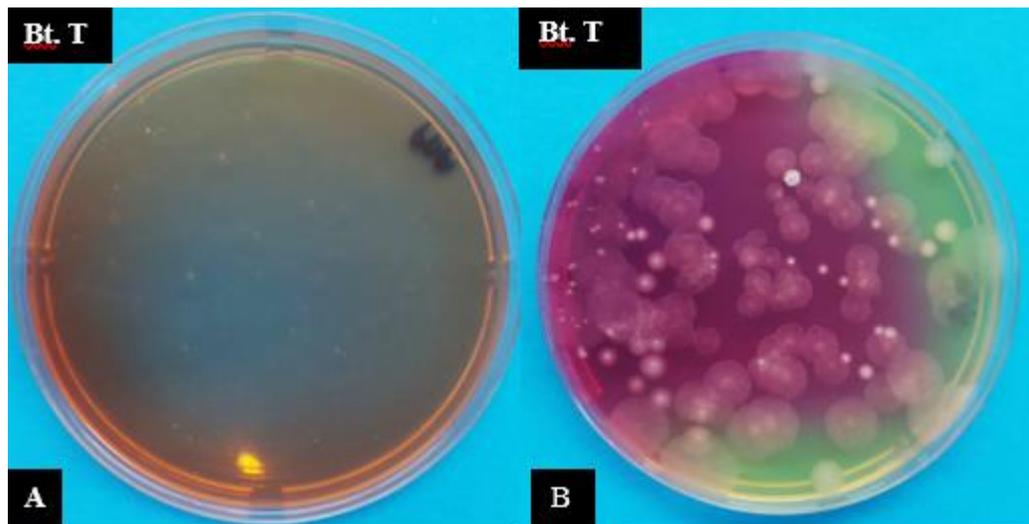


Figure IV.24. Résultats de la culture sur milieu PDA d'échantillons de betterave séchée témoin après 2 jours (A) et 3 jours d'incubation (B).

Oignon ($4,2 \times 10^3$ UFC/g) : Charge la plus basse, probablement grâce aux composés soufrés antifongiques naturellement présents.

Les charges fongiques mesurées sont faibles à modérées et restent sous les seuils critiques, indiquant une bonne maîtrise des étapes de séchage, de manipulation et de stockage. Le séchage, en réduisant l'eau libre, limite efficacement la prolifération des levures et moisissures.

La flore fongique peut provenir de la matière première, de l'environnement (air, surfaces), des ustensiles.

Les levures et moisissures dénombrées sont des contaminants courants, certains pouvant altérer la qualité et la conservation du produit.

Bien que la plupart des levures et moisissures ne soient pas pathogènes, leur développement excessif peut causer une altération organoleptique et une perte de qualité.

Les résultats confirment l'efficacité du processus de séchage et les bonnes pratiques hygiéniques appliquées, surtout pour les produits riches en sucres comme la banane.

Des améliorations restent possibles au niveau du nettoyage initial, du séchage et du conditionnement pour réduire encore plus la charge fongique [9,10].

IV.2.2.2. Résultat du dénombrement de la flore aérobie mésophile (FAM)

Le dénombrement de la flore aérobie mésophile a été effectué, en utilisant le milieu PCA (Plate Count Agar) et une incubation à 30 °C pendant 48 à 72 heures.

Tableau IV. 21. Résultat du dénombrement de la flore aérobie mésophile (FAM) pour les pommes.

Dilution	Nombre de colonies	Volumeensemencé (ml)	UFC/g (calculé)
10 ⁻⁴	210	1,0 ml	2,1 × 10 ⁵
10 ⁻⁴	190	1,0 ml	1,9 × 10 ⁵
Moyenne	--	--	2,0 × 10⁵ UFC/g

Remarque : les résultats présentés sont la moyenne de deux boîtes de la dilution 10⁻⁴, contenant entre 30 et 300 colonies.

La charge microbienne en flore aérobie mésophile est de 2,0 × 10⁵ UFC/g, ce qui reflète un niveau de contamination modéré. Cette valeur est en accord avec les limites microbiologiques admises pour des fruits frais, qui doivent contenir moins de 10⁶ UFC/g.

Tableau IV. 22. Résultat du dénombrement de la flore aérobie mésophile (FAM) pour les bananes, fraise, betteraves et oignons.

Produits séchés	Dilution	Volumeensemencé (ml)	UFC/g (moyenne calculé)
Banane	10 ⁻⁴	1,0 ml	3,9 × 10 ⁵ UFC/g
Fraise	10 ⁻⁴	1,0 ml	2,4 × 10 ⁵ UFC/g
Betterave	10 ⁻⁴	1,0 ml	2,6 × 10 ⁵ UFC/g
Oignon	10 ⁻⁴	1,0 ml	1,8 × 10 ⁵ UFC/g

D'après le tableau qui présente les fruits et légumes secs, une **FAM ≤ 5 × 10⁵ UFC/g** est généralement considérée comme **acceptable** pour les produits séchés non réhydratés :

- **Banane (3,9 × 10⁵ UFC/g)** : proche de la limite haute, mais **conforme**,
- **Fraise (2,4 × 10⁵ UFC/g)** : **bonne qualité microbiologique**,
- **Betterave (2,6 × 10⁵ UFC/g)** : **acceptable**, dans les normes,
- **Oignon (1,8 × 10⁵ UFC/g)** : **très bonne qualité microbiologique**

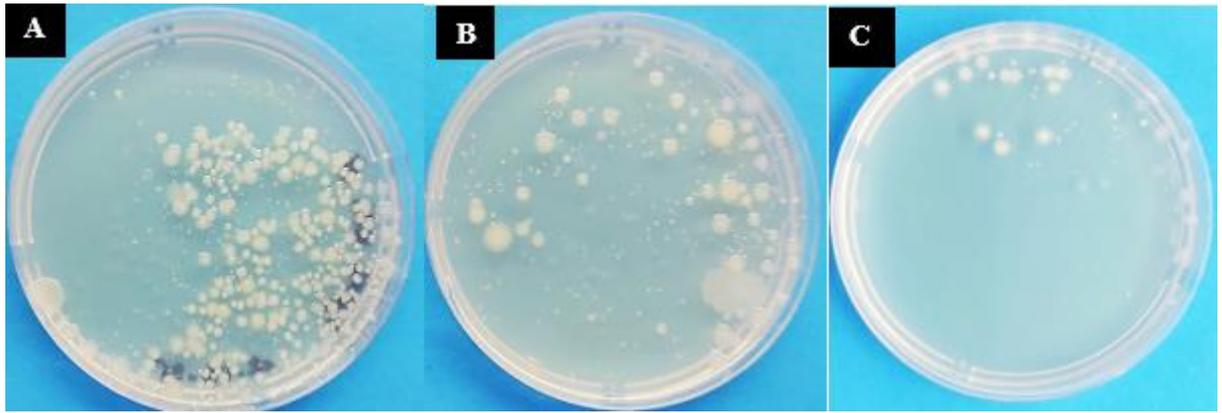


Figure IV.25. Résultats de la culture sur milieu PCA des échantillons de pomme séchée additionnée de CaCl_2 (A, B) et témoin de pomme séchée sans addition de CaCl_2 (C).

Niveau de contamination faible à modéré :

Tous les échantillons présentent des charges microbiennes inférieures au seuil critique de 5×10^5 UFC/g, ce qui indique une bonne maîtrise des étapes de séchage, de manipulation et de stockage.

Le séchage (réduction de l'eau libre) a donc bien limité la croissance microbienne,

Différences entre les produits :

- La banane présente la charge la plus élevée, ce qui pourrait s'expliquer par sa richesse en sucres simples qui favorisent le développement microbien en cas de manipulation insuffisamment hygiénique [11],
- L'oignon présente la charge la plus basse, probablement en raison de la présence de composés soufrés antimicrobiens naturels [12],

Origine possible de la flore mésophile :

- Peut provenir de la matière première, de l'environnement de séchage, des ustensiles,
- La flore mésophile inclut aussi bien des bactéries d'altération (ex. : *Bacillus*, *Pseudomonas*) que des contaminants banals [13].

Bien que ces germes ne soient pas pathogènes en eux-mêmes, leur présence en grande quantité peut accélérer l'altération des produits et réduire leur durée de conservation.

Les résultats sont **conformes aux seuils microbiologiques indicatifs** pour les produits séchés, La qualité hygiénique des échantillons est globalement **satisfaisante**, bien que des **améliorations** soient toujours possibles au niveau du nettoyage initial, du séchage et du conditionnement, surtout pour les produits plus riches en sucre comme la banane.

IV.2.3. Analyses sensorielles.

Pour l'évaluation sensorielle, les mêmes échantillons ayant fait l'objet d'analyses physico-chimiques et visuelles (couleur, texture, forme) ont été sélectionnés, Ce choix permet de garantir une analyse sensorielle représentative des produits séchés optimisés, en écartant les échantillons présentant des défauts majeurs tels qu'un rétrécissement excessif, un brunissement ou une texture inadéquate, conformément aux recommandations de Guiné et al, [7] pour les tests sensoriels.

Tableau de synthèse des résultats d'évaluation sensorielle des produits séchés

1. Banane

Tableau IV. 23. Analyses sensorielles de bananes

Produit	Prétraitement	Couleur (M/9)	Odeur (M/9)	Texture (M/9)	Goût (M/9)	Acceptabilité Globale (M/9)
Banane	Témoin	6,5	7,0	6,0	6,5	6,5
	NaCl	7,0	7,2	6,5	6,8	7,0
	CaCl ₂	7,5	7,0	7,0	7,2	7,2
	A, citrique	8,0	7,5	7,0	7,5	7,8
	A, citrique + CaCl ₂	8,5	7,8	7,5	8,0	8,2
	A, citrique + a, ascorbique	8,2	8,0	8,0	8,2	8,3
	Glucose	7,8	8,0	7,5	8,5	8,2

Les échantillons prétraités avec (**acide citrique + acide ascorbique**) et (**acide citrique + CaCl₂**) ont obtenu les meilleures notes globales, notamment pour la **couleur**, le **goût** et la **texture**, reflétant une meilleure préservation des caractéristiques sensorielles, Le témoin et l'échantillon sans traitement acide ont reçu des scores inférieurs, en raison d'une couleur et d'une texture moins appréciées, probablement liées à une oxydation plus marquée [7].

2. Pomme

Tableau IV. 24. Analyses sensorielles de pommes

Produit	Prétraitement	Couleur (M/9)	Odeur (M/9)	Texture (M/9)	Goût (M/9)	Acceptabilité Globale (M/9)
Pomme	Témoin	6,5	7,0	6,0	6,5	6,5
	NaCl	7,0	7,2	6,8	7,0	7,0
	CaCl ₂	7,5	7,0	7,5	7,5	7,3
	A. citrique	8,0	7,5	7,5	7,8	7,8
	Glucose	8,2	7,8	7,5	8,0	8,0
	Saccharose	8,5	8,0	8,0	8,5	8,4

Les prétraitements à base de saccharose et glucose ont donné les meilleures notes sensorielles, notamment pour le goût et l'acceptabilité globale, probablement en raison d'une amélioration de la douceur et de la texture. Le témoin et l'échantillon sans sucre ont reçu des scores

inférieurs, reflétant une oxydation plus marquée et une texture plus sèche, comme rapporté par Guiné et al. [7].

3. Fraise

Tableau IV. 25. Analyses sensorielles de fraises.

Produit	Prétraitement	Couleur (M/9)	Odeur (M/9)	Texture (M/9)	Goût (M/9)	Acceptabilité Globale (M/9)
Fraise	Témoin	6,0	6,5	6,0	6,2	6,2
	NaCl	6,8	6,8	6,5	6,5	6,7
	CaCl ₂	7,5	7,0	7,0	7,2	7,2
	Saccharose	8,0	7,8	7,5	8,5	8,0
	Glucose	7,8	8,0	7,2	8,0	8,0

Les fraises prétraitées avec saccharose et glucose ont obtenu les meilleures notes sensorielles, notamment pour le goût et l'acceptabilité globale, en raison d'une meilleure conservation de la saveur sucrée et de la couleur, Le témoin a reçu des notes plus faibles, indiquant une perte de qualité liée à l'oxydation et à la déshydratation non contrôlée [7].

4. Oignon

Tableau IV. 26. Analyses sensorielles d'oignon.

Produit	Prétraitement	Couleur (M/9)	Odeur (M/9)	Texture (M/9)	Goût (M/9)	Acceptabilité Globale (M/9)
Oignon	Témoin	6,5	6,0	6,2	6,0	6,2
	A, ascorbique	7,2	7,0	6,8	7,0	7,0
	A, citrique + CaCl ₂	7,8	7,5	7,0	7,5	7,5
	A, citrique + NaCl	7,5	7,2	7,0	7,2	7,3
	A, ascorbique + CaCl ₂	8,0	7,8	7,5	7,8	7,8

Les échantillons traités avec acide ascorbique + CaCl₂ et acide citrique + CaCl₂ ont présenté les meilleures qualités sensorielles, notamment pour la couleur et le goût, en raison d'une réduction de l'oxydation enzymatique et d'une meilleure stabilité des composés volatils. Le témoin a montré des scores sensoriels plus faibles, probablement liés à un brunissement non contrôlé [7].

5. Betterave

Tableau IV. 27. Analyses sensorielles de betteraves.

Produit	Prétraitement	Couleur (M/9)	Odeur (M/9)	Texture (M/9)	Goût (M/9)	Acceptabilité Globale (M/9)
Betterave	Témoin	6,0	6,5	6,0	6,2	6,2
	A, ascorbique+ CaCl ₂	7,5	7,0	7,0	7,5	7,3
	A, citrique + CaCl ₂	8,0	7,5	7,5	8,0	7,8

	A. citrique+ NaCl	7,8	7,2	7,0	7,8	7,5
--	----------------------	-----	-----	-----	-----	-----

Les échantillons de betterave prétraités avec acide citrique + CaCl₂ ont obtenu les meilleures notes sensorielles, surtout pour la couleur et le goût, probablement grâce à une meilleure rétention des pigments naturels (bétalaines) et à une limitation de l'oxydation. Le témoin a affiché des scores inférieurs en raison d'une dégradation colorimétrique plus marquée, comme l'indiquent Guiné et al. [7].

IV.2.4. Analyses colorométriques.

1. Fraise.

Tableau IV. 28. Effet du prétraitement et séchage sur les paramètres colorimétriques (L*, a*, b*, C*, h*) des échantillons de Fraise.

	L*	a*	b*	C*	h*	ΔE
Témoin	27,52	23,18	12,95	26,6	29,2	-
Glucose	38,39	37,67	18,90	42,1	26,6	19,07
Saccharose	33,83	33,91	13,82	36,6	22,2	12,48
Ac cit	45,29	37,52	19,73	42,4	27,7	23,82
NaCl	44,38	37,17	16,45	40,6	23,9	22,19
CaCl ₂	41,69	44,26	25,80	51,2	30,2	28,47

Les prétraitements appliqués sur la fraise ont globalement amélioré la luminosité (L*) et la saturation (C*) des échantillons par rapport au témoin. Le chlorure de calcium (CaCl₂) a induit la plus forte modification colorimétrique (ΔE = 28,47) et une teinte rouge-jaune plus marquée (a* et b* élevés), suivi de l'acide citrique. Ces traitements influencent donc significativement l'aspect visuel des fraises séchées.



Figure IV.26. Nuancier des couleurs des fraises séchées (Colorimètre LS170).

2. Banane

Tableau IV. 29. Effet du prétraitement et séchage sur les paramètres colorimétriques (L*, a*, b*, C*, h*) des échantillons de Banane.

	L*	a*	b*	C*	h*	ΔE
Témoin	57,46	-0,53	28,48	28,5	91,1	-
Ac cit	60,48	6,17	33,27	33,8	79,5	8,77

Cit+ CaCl ₂	72,73	2,27	29,99	30,1	85,7	15,60
NaCl	70,98	4,22	32,13	32,4	82,5	14,79
CaCl ₂	68,97	1,10	34,93	35,0	88,2	13,29
Blanchiment	45,56	0,05	14,72	14,7	89,8	18,20
Saccharose	52,13	2,22	24,75	24,9	84,8	7,06
Glucose	33,19	5,02	15,30	16,1	71,8	28,17

Les prétraitements appliqués à la banane ont modifié les paramètres colorimétriques par rapport au témoin. L'acide citrique combiné au CaCl₂ et le NaCl ont augmenté la luminosité (L*) et la saturation (C*), traduisant une couleur plus éclatante. Le blanchiment et le glucose ont fortement altéré la couleur d'origine, avec des différences totales de couleur (ΔE) les plus élevées, indiquant une modification visuelle marquée.



Figure IV.27. Nuancier des couleurs des bananes séchées (Colorimètre LS170).

3. Pomme

Tableau IV. 30: Effet du prétraitement et séchage sur les paramètres colorimétriques (L*, a*, b*, C*, h*) des échantillons de pomme

	L*	a*	b*	C*	h*	ΔE
Témoin	77,96	2,06	30,63	30,7	86,1	-
Glucose	81,98	-1,43	25,25	25,3	93,2	7,57
Ac ascorbiq	81,52	0,37	27,39	27,4	89,2	5,10
CaCl ₂	86,74	-0,69	19,75	19,8	92,0	14,25
Blanchiment	81,55	1,34	27,48	27,5	87,2	4,83
NaCl	72,41	-3,74	20,21	20,6	100,5	13,15
Saccharose	87,95	0,37	23,66	23,7	89,1	12,30
Acide citriq	80,40	-0,83	28,14	28,1	91,7	4,53

Les prétraitements ont globalement amélioré la luminosité (L*) des échantillons par rapport au témoin, notamment avec le saccharose et le CaCl₂. Ce dernier a provoqué la plus forte variation colorimétrique ($\Delta E = 14,25$), traduisant une altération visuelle marquée. L'acide citrique et l'acide ascorbique ont mieux préservé la couleur initiale avec des ΔE faibles, indiquant une bonne stabilité colorimétrique.

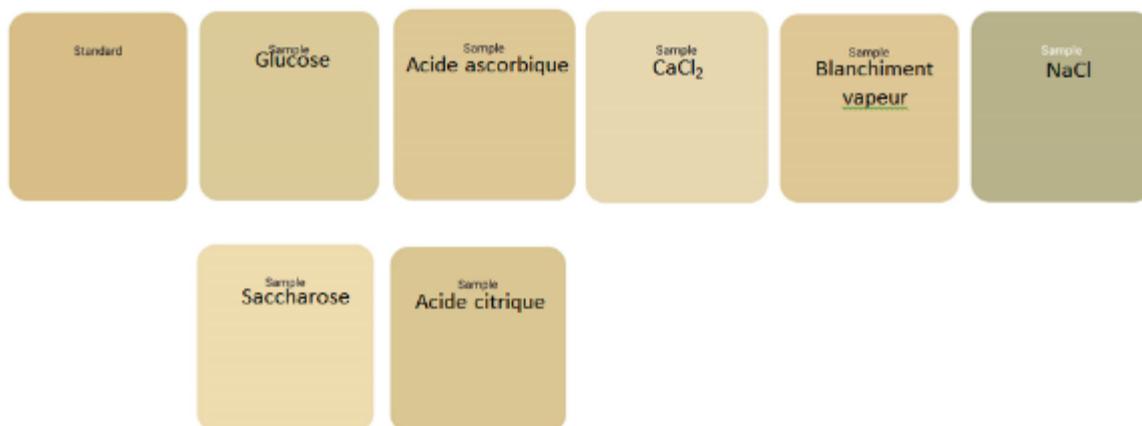


Figure IV.28. Nuancier des couleurs des pommes séchées (Colorimètre LS170).

4. Oignon

Tableau IV. 31. Effet du prétraitement et séchage sur les paramètres colorimétriques (L^* , a^* , b^* , C^* , h^*) des échantillons d'Oignon.

	L^*	a^*	b^*	C^*	h^*	ΔE
Témoin	45,98	17,78	-0,01	17,8	-295,4	-
CaCl ₂	28,70	12,29	0,40	12,3	1,9	18,14
Acide citrique	44,56	10,86	14,41	18,1	53,0	16,06
Acide ascorbique	33,36	12,69	-0,22	12,7	-296,4	13,61
NaCl	33,77	24,70	-1,08	24,7	-297,9	14,08
Acit+ CaCl ₂	52,49	36,70	-0,24	36,7	-295,8	20,01

Les prétraitements ont considérablement modifié la couleur de l'oignon séché. Le traitement combiné acide citrique + CaCl₂ a induit la plus forte variation colorimétrique ($\Delta E = 20,01$), marquant une altération importante. Le CaCl₂ seul et l'acide ascorbique ont réduit la luminosité (L^*) et la saturation (C^*), donnant une couleur plus terne. L'acide citrique a augmenté la composante jaune (b^*), traduisant une teinte différente du témoin.



Figure IV.29. Nuancier des couleurs d'oignons séchés (Colorimètre LS170).

5. Betterave

Tableau IV. 32. Effet du prétraitement et séchage sur les paramètres colorimétriques (L^* , a^* , b^* , C^* , h^*) des échantillons de betterave.

	L*	a*	b*	C*	h*	ΔE
Témoin	28,99	11,82	2,53	12,1	12,1	-
Acide citri	26,11	21,91	1,41	22,0	3,7	10,55
CaCl ₂	31,18	10,06	3,98	10,8	21,6	3,16
Blanchiment	13,89	6,09	2,87	6,7	25,3	16,15
Saccharose	22,91	14,05	2,91	14,3	11,7	6,49
Acit+ sacch	22,51	9,26	5,59	10,8	31,1	4,26
Acit+CaCl ₂	16,59	16,77	1,71	16,9	5,8	13,38

Les prétraitements ont fortement influencé la couleur de la betterave séchée. L'acide citrique a intensifié la composante rouge ($a^* = 21,91$) et la saturation ($C^* = 22,0$), tandis que le blanchiment a fortement diminué la luminosité ($L^* = 13,89$) et provoqué la plus grande altération colorimétrique ($\Delta E = 16,15$). Le CaCl₂ a préservé la couleur initiale avec une faible variation ($\Delta E = 3,16$).



Figure IV.20 Nuancier des couleurs de Betterave séchées (Colorimètre LS170)

Conclusion

Les résultats de cette étude montrent que les prétraitements appliqués aux fraises, pommes, bananes, oignons et betteraves ont un impact significatif sur leur qualité finale. L'utilisation de solutions acides, telles que l'acide citrique et l'acide ascorbique, s'est révélée efficace pour limiter le brunissement enzymatique, tandis que les sels comme le chlorure de calcium (CaCl₂) ont contribué à l'amélioration de la texture. Par ailleurs, l'incorporation de sucres, notamment le glucose et le saccharose, a permis d'optimiser la saveur et la capacité de réhydratation des produits. Les analyses microbiologiques ont confirmé la conformité de l'ensemble des échantillons aux normes sanitaires en vigueur. En outre, les tests sensoriels ont mis en évidence une meilleure acceptabilité des produits prétraités. Ces résultats offrent des

perspectives prometteuses pour l'industrie agroalimentaire, en particulier dans l'optimisation des procédés de séchage et la valorisation des produits déshydratés.

Références bibliographiques

- [1]. Z. Erbay, F. Icier, A review of thin layer drying of foods: Theory, modeling, and experimental results. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50 (5) (2010) 441–464.
- [2]. Ramaswamy & Nsonzi, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(99\)00036-4](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(99)00036-4)
- [3]. İ. Doymaz, Pretreatment effect on sun drying of mulberry fruits (*Morus alba* L.). *Journal of Food Engineering*, 65(2) (2004) 205–209.
- [4]. A. Vega-Gálvez, K. Di Scala, K. Rodríguez, R. Lemus-Mondaca, M. Miranda, J. López, M. Perez-Won, Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annum*, L. var. Hungarian), *Food Chemistry*, 117(4) (2009) 647–653.
- [5]. C. Ratti, Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering*, 49(4) (2001) 311–319.
- [6]. P.P. Lewicki, E. Jakubczyk, Effect of hot air temperature on mechanical properties of dried apples, *Journal of Food Engineering*, 64(3) (2004) 307-314.
- [7]. S.S. Sablani, Drying of fruits and vegetables: retention of nutritional/functional quality. *Drying Technology*, 24 (2) (2007) 123–135.
- [8]. M.S. Rahman, Water activity and glass transition phenomena in food. In *Handbook of Food Preservation*, 2nd ed. CRC Press, (2007).
- [9]. L.R. Beuchat, Microbial stability as affected by water activity, *Cereal Foods World*, 26 (7), (1981) 345–349.
- [10]. V.H. Tournas, M.E. Stack, P.B. Mislivec, H.A. Koch, R. Bandler, Yeasts, molds and mycotoxins, In *Bacteriological Analytical Manual* (8th ed.). U.S. Food and Drug Administration (FDA) (2001).
- [11]. N.O. Ogbuagu, A. Odonne, Isolation and Identification of Microorganisms Involved in the Spoilage of Banana (*Musa acuminata*). *IDOSR Journal of Applied Sciences*, 4(1) (2019) 86–93.
- [12]. N. Benkeblia, Antimicrobial activity of essential oil extracts of various onions (*Allium cepa*) and garlic (*Allium sativum*), *LWT - Food Science and Technology*, 37 (2004) 263-268.
- [13]. J. W. Eckert, J.M. Ogawa, The chemical control of postharvest diseases: Deciduous fruits, berries, vegetables and root/tuber crops. *Annual Review of Phytopathology*, 26 (1988) 433–469.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette étude a évalué l'effet de différents prétraitements chimiques et thermiques sur la qualité et la cinétique de séchage de tranches de fruits (fraises, pommes et bananes) et de légumes (oignons et betteraves), en utilisant un séchoir solaire direct. Les résultats obtenus apportent des contributions significatives à la compréhension des mécanismes impliqués dans le séchage, tout en proposant des solutions pratiques pour améliorer la qualité des produits déshydratés. Cette conclusion synthétise les principaux enseignements de l'étude, met en lumière leurs implications théoriques et pratiques, et ouvre des perspectives pour des recherches futures.

Les prétraitements chimiques, notamment l'acide citrique, le CaCl_2 , et les solutions sucrées (glucose, saccharose), ont démontré une influence notable sur la qualité des produits déshydratés et la cinétique de séchage. Par exemple, l'acide citrique a accéléré significativement la déshydratation des fraises et des bananes en modifiant la perméabilité membranaire, tandis que le CaCl_2 a amélioré la rétention d'eau dans les oignons et les betteraves grâce à son action sur la structure cellulaire. Les modèles mathématiques, tels que le modèle de Page et le modèle de Diffusion Approximation, ont validé ces observations avec des coefficients de détermination (R^2) proches de 1, confirmant leur adéquation pour décrire les cinétiques de séchage.

Les analyses physico-chimiques ont révélé que les prétraitements à base d'acides (citrique et ascorbique) limitent efficacement le brunissement enzymatique et préservent la teneur en composés bioactifs. Les échantillons traités avec du saccharose ou du glucose ont obtenu les meilleurs scores sensoriels, en particulier pour le goût et la texture, grâce à leur capacité à retenir l'humidité et à préserver la structure des tissus. Les betteraves et les oignons prétraités avec des combinaisons d'acide citrique et de CaCl_2 ont également montré une excellente stabilité colorimétrique, attribuée à la rétention des pigments naturels.

Les prétraitements ont eu un impact significatif sur la capacité de réhydratation des produits séchés. Les solutions sucrées et les acides organiques ont favorisé une réhydratation homogène, avec des gains de masse allant jusqu'à 16,5 g pour les betteraves. Ces résultats suggèrent que ces traitements améliorent la porosité des tissus, facilitant ainsi la réintégration de l'eau lors de la réhydratation.

Les analyses microbiologiques ont confirmé que tous les produits séchés respectaient les normes sanitaires en vigueur, avec des charges microbiennes inférieures aux seuils critiques ($\leq 5 \times 10^5$ UFC/g pour la flore aérobie mésophile et $\leq 2,5 \times 10^4$ UFC/g pour les levures et moisissures). Les prétraitements, combinés au séchage indirect, ont ainsi prouvé

leur efficacité pour garantir la sécurité alimentaire tout en prolongeant la durée de conservation.

Cette étude enrichit les connaissances sur les interactions entre les prétraitements et les propriétés des matrices végétales lors du séchage. Elle valide l'utilisation de modèles mathématiques pour prédire les cinétiques de séchage et identifie les mécanismes clés (modification de la perméabilité cellulaire, inhibition enzymatique) responsables de l'amélioration de la qualité.

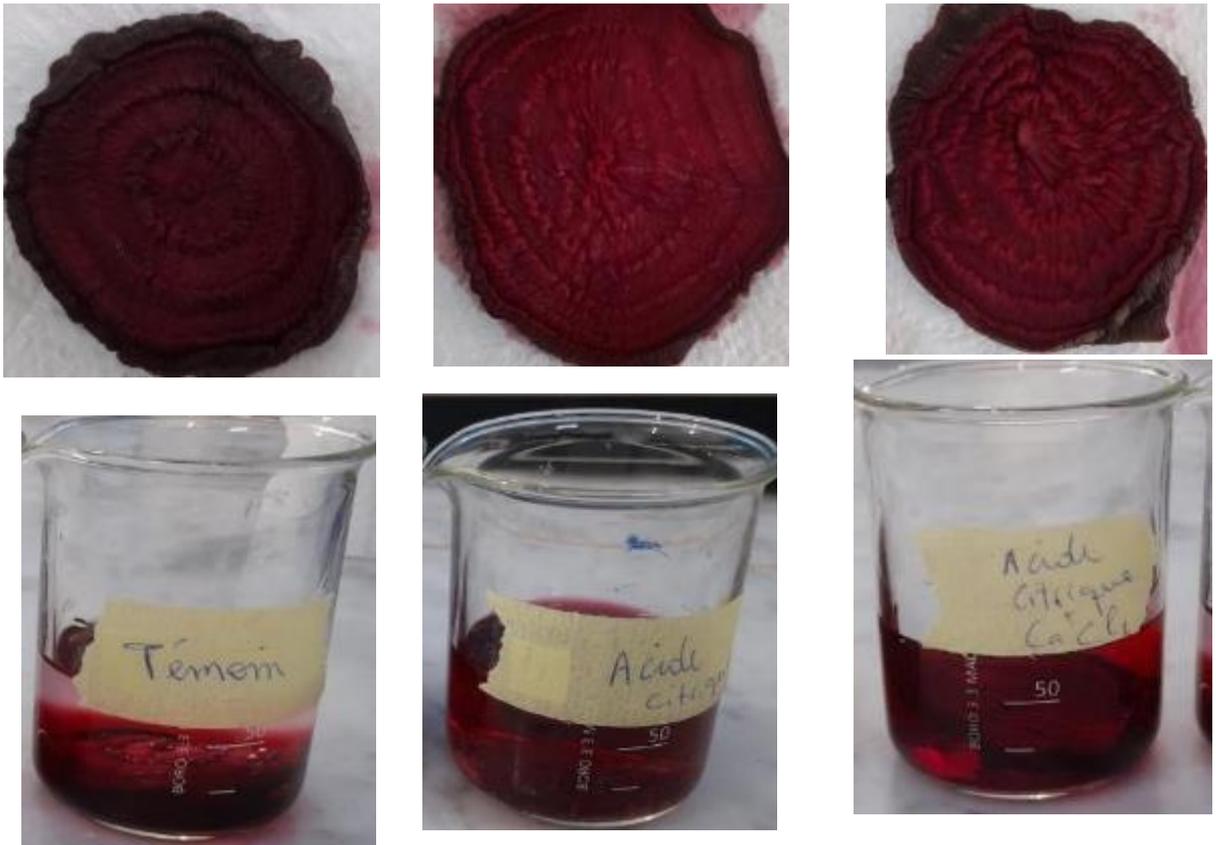
Les résultats offrent des pistes concrètes pour l'industrie agroalimentaire. Par exemple, l'utilisation d'acide citrique et de CaCl_2 pourrait être standardisée pour les produits sensibles à l'oxydation, tandis que les solutions sucrées seraient privilégiées pour les fruits destinés à une consommation directe. Les procédés de séchage solaire indirect, combinés à ces prétraitements, représentent une solution durable pour les régions aux ressources limitées.

Perspectives :

1. Étudier l'impact des prétraitements sur d'autres matrices végétales et sous d'autres conditions de séchage (e.g., séchage par micro-ondes ou lyophilisation).
2. Explorer des combinaisons innovantes de prétraitements (ultrasons et agents antioxydants) pour une optimisation accrue.
3. Évaluer la stabilité à long terme des produits séchés, notamment leur résistance à l'oxydation lipidique et aux réactions de Maillard.

Enfin, ce travail démontre que les prétraitements chimiques et thermiques sont des outils efficaces pour optimiser le séchage des fruits et légumes, en améliorant à la fois la qualité des produits et l'efficacité du procédé. Les résultats soulignent l'importance d'une approche multidisciplinaire, intégrant la chimie, la microbiologie et la technologie alimentaire, pour relever les défis de la conservation des denrées périssables. Ces avancées contribuent non seulement à la réduction des pertes post-récolte, mais aussi au développement de produits innovants, répondant aux attentes des consommateurs en termes de qualité nutritionnelle et sensorielle.

ANNEXES



Témoin

Acide Citrique

Acide Citrique + CaCl₂

Figure Annexe 1 : représenter les résultats de l'hydratation de betterave

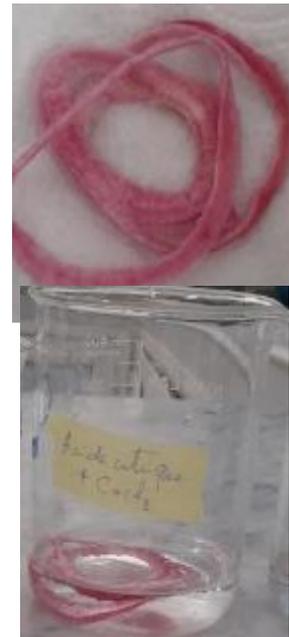


Témoin

Acide Ascorbique + CaCl₂



Acide Citrique + NaCl



Acide Citrique + CaCl₂

Figure Annexe 2 : représenter les résultats de l'hydratation d'oignon



Témoin



Acide Citrique



Glucose



Saccharose



NaCl

CaCl₂

Figure Annexe 3 : représenter les résultats de l'hydratation de pomme



Témoin



Acide Citrique



NaCl



CaCl₂



Glucose



Saccharose

Figure Annexe 4 : Représenter les résultats de l'hydratation de Fraise.

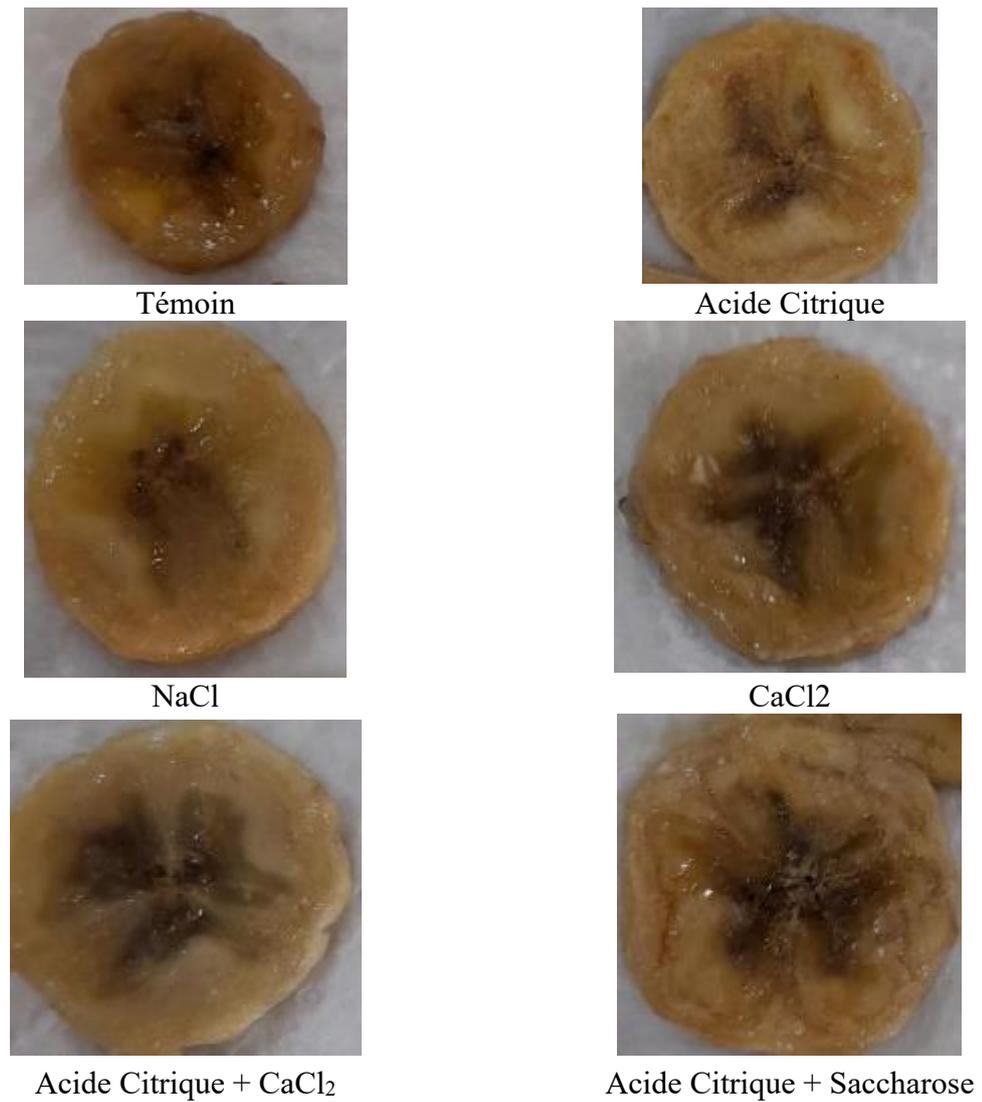


Figure Annexe 5 : Représenter les résultats de l'hydratation de Banane.

Tableau Annexe 1 : les cinétiques de séchage de banane

	Témoïn	Acide citrique 1%	Acide citrique 3%	NaCl	CaCl ₂	Acide citrique +CaCl ₂	Acide citrique +saccharose
P	15,66	18,58	29,65	18,92	20,99	17,82	25,94
0	57,2	75,38	60,14	75,85	66,9	69,81	60,3
30	50,38	70,15	45,73	67,23	61,97	64,53	55,39
90	41,67	56,28	31,98	52,2	48,9	53,19	42,97
150	36,41	47,01	24,33	42,54	39,4	43	34,98
210	32,64	41,64	20,52	37,1	33,99	40,22	30,06
270	29,83	37,59	18,24	33,19	30,08	36,47	26,62
360	27,04	33,57	16,71	29,73	26,38	32,46	23,33
555	24,92	30,73	16,18	27,39	23,84	29,6	21,27
1695	17,14	20,48	14,88	21,5	17,18	19,33	16,33
1935	14,79	19,86	14,71	20,79	16,85	18,51	16,01

Masse sèche						
Témoin	Acide citrique 1%	Acide citrique 3%	NaCl	CaCl2	Acide citrique +CaCl2	Acide citrique +saccharose
13,156	17,3374	13,8322	17,4455	15,387	16,0563	13,869
13,156	17,3374	13,8322	17,4455	15,387	16,0563	13,869
13,156	17,3374	13,8322	17,4455	15,387	16,0563	13,869
13,156	17,3374	13,8322	17,4455	15,387	16,0563	13,869
13,156	17,3374	13,8322	17,4455	15,387	16,0563	13,869
13,156	17,3374	13,8322	17,4455	15,387	16,0563	13,869
13,156	17,3374	13,8322	17,4455	15,387	16,0563	13,869
13,156	17,3374	13,8322	17,4455	15,387	16,0563	13,869
13,156	17,3374	13,8322	17,4455	15,387	16,0563	13,869
13,156	17,3374	13,8322	17,4455	15,387	16,0563	13,869

W						
Témoin	Acide citrique 1%	Acide citrique 3%	NaCl	CaCl2	Acide citrique +CaCl2	Acide citrique + Saccharose
0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
0,738865	0,752852	0,697525	0,74051	0,751702	0,751181	0,749612
0,684281	0,691944	0,567473	0,665795	0,685337	0,698133	0,67724
0,638671	0,631198	0,431476	0,589904	0,609467	0,626598	0,603516
0,596936	0,583636	0,325916	0,529771	0,547308	0,600788	0,538623
0,558967	0,538776	0,241656	0,474375	0,488464	0,55974	0,479001
0,513462	0,483545	0,17222	0,413202	0,416717	0,505351	0,405529
0,472071	0,435815	0,145105	0,36307	0,354572	0,457557	0,347955
0,232439	0,153447	0,070417	0,188581	0,104366	0,169359	0,150704
0,11048	0,127019	0,059674	0,160871	0,086825	0,132561	0,133729

X						
Témoin	Acide citrique 1%	Acide citrique 3%	NaCl	CaCl2	Acide citrique +CaCl2	Acide citrique +saccharose
3,347826	3,347826	3,347826	3,347826	3,347826	3,347826	3,347826
2,829431	3,046166	2,306054	2,853716	3,027426	3,018983	2,993799
2,167376	2,246161	1,311997	1,992176	2,178007	2,312718	2,098277
1,767559	1,711479	0,758939	1,438451	1,560603	1,678077	1,522172
1,480997	1,401744	0,483495	1,126623	1,209008	1,504936	1,167424
1,267407	1,168145	0,318662	0,902496	0,954897	1,271383	0,919389
1,055336	0,936276	0,208051	0,704164	0,714434	1,021636	0,682169
0,894193	0,772469	0,169734	0,570032	0,54936	0,843513	0,533636
0,302828	0,181261	0,075751	0,23241	0,116527	0,203889	0,177446
0,124202	0,1455	0,063461	0,191711	0,09508	0,152819	0,154373

4,600225	5,05855	5,708935	5,0537	4,464425	3,12534
4,600225	5,05855	5,708935	5,0537	4,464425	3,12534
4,600225	5,05855	5,708935	5,0537	4,464425	3,12534
4,600225	5,05855	5,708935	5,0537	4,464425	3,12534
4,600225	5,05855	5,708935	5,0537	4,464425	3,12534

W						
Temps	Acide Citrique	Glucose	CaCl ₂	NaCl	Saccharose	Témoin
0	0,9515	0,9515	0,9515	0,9515	0,9515	0,9515
30	0,9459877	0,9471913	0,9432624	0,941352	0,9464312	0,9422196
60	0,939359	0,9422474	0,9375117	0,9342993	0,9401552	0,934134
120	0,9187096	0,9285314	0,9189417	0,9129873	0,9223848	0,898758
180	0,8744137	0,901508	0,8855925	0,8693121	0,8885565	0,8513866
240	0,7999902	0,8630233	0,8377221	0,8038921	0,8369458	0,7676327
300	0,713024	0,8201724	0,7872975	0,7385566	0,7747515	0,7493713
360	0,640888	0,7796799	0,7442233	0,6849314	0,7654007	0,7360355
420	0,6058076	0,7533618	0,7184943	0,6550375	0,7401382	0,7017805
565	0,556391	0,7286186	0,6404953	0,6127433	0,7070587	0,6261555
1335	0,47426	0,5422127	0,5736419	0,6225765	0,5250612	0,4834149
1655	0,4334698	0,5016207	0,5407132	0,5186952	0,4862572	0,4545654
1955	0,4327713	0,5011292	0,539602	0,5186952	0,4874369	0,4507311

X					
Acide Citrique	Glucose	CaCl ₂	NaCl	Saccharose	Témoin
19,618557	19,618557	19,618557	19,618557	19,618557	19,618557
17,514312	17,936256	16,625004	16,050874	17,667578	16,306917
15,490498	16,315239	15,002985	14,220531	15,709879	14,182348
11,301572	12,992152	11,336802	10,49257	11,884078	8,8773253
6,962654	9,1531071	7,7406846	6,6518195	7,97316	5,7288679
3,9997554	6,300511	5,1622702	4,0992342	5,1329287	3,3035318
2,4846122	4,5608821	3,7014023	2,8249204	3,4395415	2,9899659
1,7846464	3,5388501	2,9096609	2,1739122	3,262587	2,7883878
1,5368324	3,0545216	2,5523263	1,8988662	2,8481999	2,3532352
1,2542376	2,6848504	1,7816046	1,5822665	2,4136535	1,674909
0,9020809	1,1844204	1,3454462	1,6495439	1,1055343	0,9357894
0,7651311	1,0065038	1,1772888	1,0776857	0,9464993	0,8334005
0,7629572	1,004527	1,1720338	1,0776857	0,9509791	0,8206019

XR					
Acide	Glucose	CaCl ₂	NaCl	Saccharose	Témoin

W				
Témoïn	NaCl	CaCl₂	Acide Citrique	Acide Ascorbique
0,841	0,841	0,841	0,841	0,841
0,825259	0,83939286	0,83275185	0,81707441	0,83970449
0,81088636	0,82410258	0,82131574	0,80592237	0,81345814
0,76069433	0,77082596	0,7864805	0,78169857	0,7713699
0,71942678	0,70132707	0,72313903	0,75217194	0,7407242
0,65817488	0,5674392	0,62348028	0,71078627	0,63118107
0,63274275	0,49504025	0,58486288	0,69451363	0,59850324
0,53352643	0,31247788	0,4244544	0,61538722	0,47792427
0,35233136	0,22280109	0,22903106	0,42940426	0,31931899
0,2519649	0,18747386	0,16413468	0,30859844	0,23471822
0,20644414	0,16175498	0,13198601	0,23377143	0,20058771

X				
Témoïn	NaCl	CaCl₂	Acide Citrique	Acide Ascorbique
5,28930818	5,28930818	5,28930818	5,28930818	5,28930818
4,72275539	5,22637314	4,97913948	4,46670373	5,23847797
4,28782598	4,68513181	4,59646381	4,15257731	4,3607271
3,17875599	3,363496	3,68341309	3,58082202	3,37387724
2,56413206	2,34814405	2,61192122	3,0350556	2,85689685
1,92547256	1,31181375	1,65590341	2,45765056	1,71135758
1,72288702	0,98035588	1,40884263	2,27346852	1,4906801
1,14374417	0,45449867	0,73748181	1,60001763	0,91543093
0,5439994	0,2866719	0,29706911	0,75255425	0,46911693
0,33683566	0,23072964	0,19636498	0,44633749	0,30670822
0,26015074	0,19296862	0,15205517	0,30509359	0,25091897

XR				
Témoïn	NaCl	CaCl₂	Acide Citrique	Acide Ascorbique
1	1	1	1	1
0,88734638	0,98765093	0,93962363	0,83495806	0,98991142
0,80086481	0,88144896	0,8651333	0,7719338	0,81569882
0,58033682	0,62211855	0,68740199	0,65722058	0,61983268
0,45812471	0,42288694	0,47882906	0,5477216	0,51722441
0,33113336	0,21953897	0,29273393	0,43187486	0,2898622
0,29085116	0,15450055	0,24464192	0,39492179	0,24606299
0,17569413	0,05131723	0,11395714	0,25980503	0,13188976
0,0564406	0,01838639	0,02822791	0,08977556	0,04330709
0,01524807	0,00740944	0,0086252	0,02833825	0,01107284
-5,2155E-10	-4,3311E-10	-4,9273E-11	7,7342E-10	5,8199E-10

Tableau Annexe 4 : les cinétiques de séchage d'oignon.

	Acide citrique	Acide citrique +NaCl	Acide citrique+CaCl2	Acide ascorbique+CaCl2	Témoin
p	18,58	24,619	12,097	16,346	15,713
0	86,27	87,73	66,98	65,94	61,139
30	62,38	66,611	60,603	51,164	44,727
100	41,95	37,271	43,863	31,174	32,997
160	31,61	23,461	31,403	20,924	24,737
225	22,45	15,501	25,223	15,924	24,737
290	17,52	12,601	19,963	13,654	12,837
353	15,47	11,751	17,503	12,254	10,137
418	15,47	11,241	16,123	11,494	8,777
480	13,13	11,031	15,463	11,004	8,067
1285	10,65	10,671	13,053	9,334	6,777
1347	10,47	10,631	12,813	9,144	6,697
1407	10,28	10,581	12,553	8,944	6,587
1480	9,84	10,361	12,173	8,594	6,387
1659	9,26	10,081	11,633	7,884	6,247

Masse séché

Acide Citrique	Acide citrique +NaCl	Acide citrique+CaCl2	Acide ascorbique+CaCl2	Témoin
6,806703	6,921897	5,284722	5,202666	4,8238671
6,806703	6,921897	5,284722	5,202666	4,8238671
6,806703	6,921897	5,284722	5,202666	4,8238671
6,806703	6,921897	5,284722	5,202666	4,8238671
6,806703	6,921897	5,284722	5,202666	4,8238671
6,806703	6,921897	5,284722	5,202666	4,8238671
6,806703	6,921897	5,284722	5,202666	4,8238671
6,806703	6,921897	5,284722	5,202666	4,8238671
6,806703	6,921897	5,284722	5,202666	4,8238671
6,806703	6,921897	5,284722	5,202666	4,8238671
6,806703	6,921897	5,284722	5,202666	4,8238671
6,806703	6,921897	5,284722	5,202666	4,8238671
6,806703	6,921897	5,284722	5,202666	4,8238671
6,806703	6,921897	5,284722	5,202666	4,8238671
6,806703	6,921897	5,284722	5,202666	4,8238671

W

Acide Citrique	Acide citrique +NaCl	Acide citrique+CaCl2	Acide ascorbique+CaCl2	Témoin
0,9211	0,9211	0,9211	0,9211	0,9211
0,89088325	0,89608478	0,91279768	0,89831393	0,89214866
0,83774248	0,81428196	0,87951754	0,83310881	0,85380892
0,78466615	0,70496155	0,83171283	0,75135414	0,80499385
0,6968061	0,55345481	0,79048004	0,67328146	0,80499385

0,61148955	0,45068669	0,73527416	0,61896397	0,62422162
0,56000627	0,41095251	0,69806765	0,57543121	0,52413267
0,56000627	0,38422765	0,67222465	0,5473581	0,45039682
0,48159155	0,37250503	0,65823437	0,52720229	0,40202466
0,36087296	0,35133568	0,59513353	0,44261131	0,28820022
0,3498851	0,34889502	0,58754999	0,43102953	0,27969731
0,33786936	0,34581826	0,57900725	0,41830657	0,26766857
0,30826189	0,33192771	0,56586528	0,39461648	0,24473664
0,26493488	0,31337199	0,54571289	0,34009817	0,22781061

X				
Acide Citrique	Acide citrique +NaCl	Acide citrique+CaCl2	Acide ascorbique+CaCl2	Témoin
11,6742712	11,6742712	11,6742712	11,6742712	11,6742712
8,16449564	8,62322901	10,4675852	8,83418886	8,27202161
5,16304252	4,38450659	7,29996356	4,99192798	5,84036258
3,6439517	2,38938878	4,94222364	3,02178422	4,12804343
2,29821942	1,239415	3,77281492	2,06073848	4,12804343
1,57393337	0,82045471	2,77749293	1,62442371	1,66114297
1,27275966	0,697656	2,31200014	1,3553309	1,10142605
1,27275966	0,62397678	2,05087004	1,20925195	0,81949457
0,92898089	0,59363828	1,92598173	1,11506947	0,67230975
0,56463416	0,54162941	1,46995017	0,79408019	0,40488945
0,53818963	0,53585065	1,42453624	0,75756045	0,38830525
0,51027597	0,5286272	1,37533781	0,71911862	0,36550196
0,44563381	0,496844	1,30343242	0,65184542	0,32404145
0,36042369	0,45639266	1,20125108	0,51537692	0,29501909

XR				
Acide Citrique	Acide citrique +NaCl	Acide citrique+CaCl2	Acide ascorbique+CaCl2	Témoin
1,000000003	1,000000003	1,000000003	1,000000003	1
0,68978055	0,72801968	0,884781472	0,745487118	0,7010129
0,424490327	0,350165489	0,582326054	0,401164394	0,48732056
0,29022205	0,172313875	0,357200933	0,224610722	0,33684326
0,171276458	0,069801286	0,245541764	0,138486979	0,33684326
0,107258798	0,032453734	0,150504996	0,0993868	0,12005392
0,080638878	0,021507038	0,106058142	0,075272152	0,07086643
0,080638878	0,014939021	0,081124542	0,062181343	0,04609051
0,050253214	0,012234543	0,069199776	0,053741216	0,03315602
0,018049604	0,007598295	0,025656314	0,024975886	0,00965532
0,015712245	0,007083156	0,021320035	0,021703184	0,00819792
0,013245033	0,006439233	0,0166224	0,018258234	0,00619398
0,007531489	0,003605971	0,009756626	0,012229572	0,00255046
-1,55747E-	2,05077E-10	-1,80674E-10	3,63981E-10	3,2568E-10

Tableau Annexe 5 : les cinétiques de séchage de Betterave.

	Témoin	Acide Citrique +CaCl₂	Acide Citrique
P	20,32	20,04	29,72
0	100,284	127,212	121,409
30	91,25	110,78	112,18
112	75,64	78,98	76,68
166	65,61	64,21	56,92
233	53,43	44,96	36,64
313	35,57	30,43	27,55
377	24,08	23,41	21,73
487	16,17	19,4	16,11
577	14,26	17,94	14,96
1357	12,04	16,05	13,99
1777	10,97	14,71	13,25

Masse sèche		
Témoin	Acide Citrique +CaCl₂	Acide Citrique
10,46965	13,28093	12,6751

W		
Témoin	Acide Citrique +CaCl₂	Acide Citrique
0,8956	0,8956	0,8956
0,885264	0,880114	0,887011
0,861586	0,831844	0,834701
0,840426	0,793164	0,777317
0,804049	0,704606	0,654064
0,705661	0,563558	0,539924
0,565214	0,432681	0,4167

0,352526	0,315416	0,213215
0,265803	0,259703	0,152734
0,130428	0,172528	0,093989
0,045611	0,097149	0,043389

X		
Témoïn	Acide Citrique +CaCl ₂	Acide Citrique
8,578544	8,578544	8,578544
7,715669	7,341282	7,850424
6,224693	4,946871	5,049657
5,266685	3,834751	3,490694
4,103323	2,385304	1,890707
2,397439	1,291255	1,173553
1,299981	0,762677	0,714385
0,544464	0,460741	0,270996
0,362032	0,350809	0,180267
0,149991	0,208499	0,103739
0,047791	0,107603	0,045357

XR		
Témoïn	Acide Citrique+CaCl ₂	Acide Citrique
1	1	1
0,899167	0,854018	0,914735
0,724937	0,571507	0,586757
0,612987	0,440291	0,404198
0,477041	0,269274	0,216835
0,277697	0,140189	0,132854
0,149452	0,077824	0,079084
0,061165	0,042199	0,027162
0,039846	0,029228	0,016537
0,015068	0,012438	0,007576
0,003125	0,000533	0,000739

Tableau Annexe 6 : la modélisation de pomme.

Témoin

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		K	A	b	K1	K2	c	n	R ²	X ²
1	Newton	0,00385	\	\	\	\	\	\	0.98936	0.00137
2	Page Model	0.00849	\	\	\	\	\	0.85197	0.99413	8.37287E-4
3	Herderson and Pabis	0.00373	0.98148	\	\	\	\	\	0.98988	0.00144
4	Modied Page Model	0.0037	\	\	\	\	\	0.84738	0.99413	8.36531E-4
5	Logarithmic Model	0.00409	0.95469	\	\	\	0.03555	\	0.99272	0.00117
6	Midilli-Kucuk	33.26985	1	7.39107E-5	\	\	\	63.78604	-0.68109	0.30827
7	Verma et al Model	\	0.41303	\	0.00169	0.00681	\	\	0.99759	3.87347E-4
8	TwoTerms Exponential Model	1	0.00383	\	\	\	\	\	0.98957	0.00134
9	Two Terms Model	\	0.01423	1	-2.89462E-4	0.00408	\	\	0.99066	0.0015
10	Diffusion Approximation	0.00681	0.58648	0.24804	/	/	/	/	0.99759	3.87346E-4

Acide Ascorbique

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		K	A	b	K1	K2	c	n	R ²	X ²
1	Newton	0.00291	\	\	\	\	\	\	0.97532	0.00285
2	Page Model	0.01246	\	\	\	\	\	0.7417	0.99748	3.2315E-4
3	Herderson and Pabis	0.00251	0.92341	\	\	\	\	\	0.98658	0.00172
4	Modied Page Model	0.00271	0.74161	\	\	\	\	\	0.99748	3.23149E-4
5	Logarithmic Model	0.00275	0.89965	\	\	\	0.03229	\	0.98841	0.00167
6	MidilliKucuk	33.24802	1	9.76892E-5	\	\	\	63.75101	-1.0444	0.33762

Annexes

7	Verma et al Model	\	0.75768	\	0.00185	0.01758	\	\	0.99792	3.00306E-4
8	Two Terms Exponential Model	1	0.00289	\	\	\	\	\	0.97615	0.00276
9	Two Terms Model	\	-0.07654	1	0.00251	0.00251	\	\	0.98658	0.00194
10	Diffusion Approximation	0.01758	0.24229	0.10542	\	\	\	\	0.99792	3.00306E-4

Acide Citrique

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		K	A	b	K1	K2	c	n	R ²	X ²
1	Newton	0.00382	\	\	\	\	\	\	0.98962	0.00154
2	Page Model	0.00217	\	\	\	\	\	1.10608	0.99104	0.00148
3	Herderson and Pabis	0.00407	1.04318	\	\	\	\	\	0.99211	0.00131
4	ModiedPageModel	0.00391	\	\	\	\	\	1.10514	0.99104	0.00148
5	LogarithemModel	0.00425	1.02753	\	\	\	0.01939	\	0.99291	0.00131
6	Midilli-Kucuk	33.26752	1	6.70806E-5	\	\	\	63.78839	-0.63421	0.34615
7	Verma et al Model	\	0.03009	\	4.77915E-4	0.0004	\	\	0.99008	0.00184
8	Two Terms Exponential Model	1	0.0038	\	\	\	\	\	0.98917	0.00161
9	Two Terms Model	\	0.05067	1	6.30836E-4	0.00443	\	\	0.99316	0.00127
10	Diffusion Approximation	0.50597	-0.09024	0.00859	\	\	\	\	0.99472	8.70092E-4

CaCl₂

N°	Les Modèles	Les paramètres du model	La régression du
----	-------------	-------------------------	------------------

Annexes

									Model	
		K	A	b	K1	K2	c	n	R ²	X ²
1	Newton	0.00378							0.99093	0.00138
2	Page Model	0.00131						1.19795	0.99525	8.01521E-4
3	Herderson and Pabis	0.00404	1.04615						0.99377	0.00105
4	Modied Page Model	0.00392						1.19722	0.99525	8.01512E-4
5	Logarithmic Model	0.00411	1.03933				0.00821		0.99391	0.00116
6	Midilli-Kucuk	33.26788	1	6.34593E-5				63.78982	-0.61846	0.35123
7	Verma et al Model		-29.02868		0.00299	0.00301			0.99115	0.00149
8	TwoTerms Exponential Model	81.39889	4.64596E-5						0.99092	0.00138
9	Two Terms Model		0.04787	1	0.00122	0.00426			0.99382	0.00117
10	Diffusion Approximation	0.03445	-0.14897	0.13191					0.9972	5.31395E-4

Tableau Annexe 7 : la modélisation de banane.

Témoïn

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		K	A	b	K1	K2	c	n	R ²	X ²
1	Newton	0.00388	\	\	\	\	\	\	0.96733	0.00337
2	Page Model	0.02021	\	\	\	\	\	0.6941	0.99489	5.92837E-4
3	Herderson and Pabis	0.00351	0.93829	\	\	\	\	\	0.97453	0.00295
4	Modied Page Model	0.00362	\	\	\	\	\	0.69258	0.99489	5.92727E-4
5	Logarithmic Model	0.00407	0.89468	\	\	\	0.05681	\	0.98121	0.00249
6	Midilli-Kucuk	30.8874	1	9.34699E-5	\	\	\	61.33931	-0.8861	0.29156
7	Verma et al Model	\	0.48954	\	0.00146	0.01027	\	\	0.99814	2.46757E-4
8	Two Terms Exponential Model	0.01402	0.20877	\	\	\	\	\	0.98686	0.00152

Annexes

9	Two Terms Model	\	0.51005	0.48854	0.01021	0.00145	\	\	0.99814	2.87475E-4
10	Diffusion Approximation	0.01027	0.51052	0.14172	\	\	\	\	0.99814	2.46757E-4

AC 1%

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		K	A	b	K1	K2	c	n	R ²	X ²
1	Newton	0.00418	\	\	\	\	\	\	0.98353	0.00179
2	Page Model	0.00926	\	\	\	\	\	0.85098	0.98955	0.0013
3	Herderson and Pabis	0.00411	0.98814	\	\	\	\	\	0.98381	0.00201
4	Modied Page Model	0.00408	\	\	\	\	\	0.85014	0.98955	0.0013
5	Logarithmic Model	0.00476	0.94101	\	\	\	0.0602	\	0.98868	0.00164
6	Midilli-Kucuk	22.31095	1	1.57454E-4	\	\	\	46.63306	-1.02246	0.35189
7	Verma et al Model	\	0.34328	\	0.00145	0.00708	\	\	0.9956	6.37535E-4
8	Two Terms Exponential Model	0.0099	0.30086	\	\	\	\	\	0.99213	9.77847E-4
9	Two Terms Model	\	0.36455	0.65891	0.00149	0.00765	\	\	0.99648	6.12314E-4
10	Diffusion Approximation	0.00708	0.65677	0.20529	\	\	\	\	0.9956	6.37536E-4

NaCl

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		K	A	b	K1	K2	c	n	R ²	X ²
1	Newton	0.00569	\	\	\	\	\	\	0.98992	0.00115
2	Page Model	0.01119	\	\	\	\	\	0.86888	0.99417	7.58762E-4
3	Harderson and	0.005	0.98	\	\	\	\	\	0.99	0.001

Annexes

	Pabis	58	55						028	27
4	ModiedPageModel	0.00568	\	\	\	\	\	0.86576	0.99418	7.58418E-4
5	LogarithemModel	0.00646	0.94441	\	\	\	0.05446	\	0.99547	6.881E-4
6	MidilliKucuk	22.34913	1	1.17297E-4	\	\	\	46.69189	-0.45283	0.26493
7	Vermaetal	\	0.18965	\	0.00127	0.00791	\	\	0.99894	1.61286E-4
8	TwoTermeExponentialModel	0.01189	0.34239	\	\	\	\	\	0.99581	5.45498E-4
9	TwotermsModel	\	0.81143	0.19981	0.00816	0.00132	\	\	0.99912	1.59968E-4
10	Diffusion Approximation	0.00791	0.81046	0.16084	\	\	\	\	0.99894	1.61287E-4

Acide citrique +CaCl₂

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		K	A	b	K1	K2	c	n	R ²	X ²
1	Newton	0.00393	\	\	\	\	\	\	0.96733	0.00337
2	Page Model	0.01101	\	\	\	\	\	0.80828	0.98847	0.00137
3	Harderson and Pabis	0.00379	0.97634	\	\	\	\	\	0.97872	0.00253
4	ModiedPageModel	0.00378	\	\	\	\	\	0.80719	0.98847	0.00137
5	LogarithemModel	0.00447	0.92362	\	\	\	0.06735	\	0.98459	0.00213
6	MidilliKucuk	22.3035	1	1.69905E-4	\	\	\	46.61991	-1.18076	0.36248
7	Vermaetal	\	0.4164	\	0.00148	0.00773	\	\	0.99485	7.12985E-4
8	TwoTermeExponentialModel	0.01084	0.2623	\	\	\	\	\	0.99001	0.00119
9	TwotermsModel	\	0.58719	0.43236	0.00828	0.00151	\	\	0.99548	7.51873E-4
10	Diffusion Approximation	0.00773	0.58349	0.19176	\	\	\	\	0.99485	7.12984E-4

CaCl₂

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		K	A	b	K1	K2	c	n	R ²	X ²
1	Newton	0.00485	\	\	\	\	\	\	0.99124	0.00104
2	Page Model	0.00628	\	\	\	\	\	0.95052	0.99191	0.0011
3	Harderson and Pabis	0.00489	1.00663	\	\	\	\	\	0.99131	0.00118
4	ModiedPageModel	0.00482	\	\	\	\	\	0.94423	0.99192	0.00109
5	LogarithemModel	0.00541	0.97357	\	\	\	0.04185	\	0.99391	9.613E-4
6	MidilliKucuk	22.32947	1	1.30894E-4	\	\	\	46.66431	-0.69865	0.32189
7	Vermaetal	\	0.17755	\	0.0013	0.00628	\	\	0.99553	7.06647E-4
8	TwoTermeExpone ntialModel	0.00818	0.41633	\	\	\	\	\	0.99394	8.19718E-4
9	TwotermsModel	\	0.20672	0.81983	0.00138	0.00679	\	\	0.99659	6.47026E-4
10	Diffusion Approximation	0.00628	0.82237	0.20638	\	\	\	\	0.99553	7.06647E-4

Acide citrique +Saccharose

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		K	A	b	K1	K2	c	n	R ²	X ²
1	Newton	0.00526	\	\	\	\	\	\	0.99295	8.47312E-4
2	Page Model	0.00656	\	\	\	\	\	0.95754	0.99343	9.02788E-4
3	Harderson and Pabis	0.0053	1.00637	\	\	\	\	\	0.99302	9.5916E-4
4	ModiedPageModel	0.00525	\	\	\	\	\	0.95197	0.99343	9.0186E-4
5	LogarithemModel	0.00584	0.97576	\	\	\	0.03904	\	0.99543	7.31762E-4
6	MidilliKucuk	22.33993	1	1.19874E-4	\	\	\	46.68051	-0.55449	0.29887
7	Vermaetal	\	0.14014	\	0.00121	0.00653	\	\	0.99656	5.51722E-4

Annexes

8	TwoTermeExponen tialModel	0.008 48	0.43 792	\	\	\	\	\	0.99 511	6.7202 3E-4
9	TwotermsModel	\	0.85 911	0.1647 3	0.00 698	0.00 131	\	\	0.99 739	5.0216 8E-4
1 0	Diffusion Approximation	0.006 53	0.85 987	0.1854	\	\	\	\	0.99 656	5.5172 2E-4

Tableau Annexe 8 : la modélisation de Fraise.

Témoin

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		k	A	b	c	k1	k2	n	R ²	X ²
1	Newton	0,00699	-	-	-	-	-	-	0,99389	7,26× 10 ⁻⁴
2	Page Model	0,00482	-	-	-	-	-	1,074 27	0,99465	6,94× 10 ⁻⁴
3	Herderson and Pabis	0,00715	1,01915	-	-	-	-	-	0,9943	7,38× 10 ⁻⁴
4	Modied Page Model	0,00697	-	-	-	-	-	1,069 74	0,99465	6,94× 10 ⁻⁴
5	Logarithmic Model	0,00734	1,01247	-	0,0095 5	-	-	-	0,99459	7,7×10 ⁻⁴
6	Midilli-Kucuk	31,11498	1	3,69× 10 ⁻⁵	-	-	-	59,85 293	-0,03251	0,16375
7	Verma et al Model	-	- 457163,2 5	-	-	0,1	0,1	-	0,01691	0,12756
8	Two-Terms Exponential Model	0,06214	0,1	-	-	-	-	-	0,98674	0,00158
9	Two-Terms Model	-	0,1	0,9255 9	-	0,00 297	0,007 97	-	0,9945	7,8410 ⁻⁴
10	Diffusion Approximation	0,07487	-0,18521	0,1	-	-	-	-	0,99513	6,31× 10 ⁻⁴

Glucose

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		k	A	b	c	k1	k2	n	R ²	X ²
1	Newton	0,00473	-	-	-	-	-	-	0,99288	8,70× 10 ⁻⁴
2	Page Model	0,00109	-	-	-	-	-	1,273 24	0,99628	5,45× 10 ⁻⁴
3	Herderson and Pabis	0,00598	1,052	-	-	-	-	-	0,99089	0,00143
4	Modied Page Model	0,00472	-	-	-	-	-	1,264 97	0,99629	5,44× 10 ⁻⁴

Annexes

5	Logarithmic Model	0,00456	1,05611	-	-	-	-	-	0,99095	0,00146
6	Midilli-Kucuk	31,07758	1	$5,64 \times 10^{-5}$	-	-	-	59,80536	-0,38667	0,24861
7	Verma et al Model	-	-	-	-	0,1	0,1	-	-0,34766	0,19769
8	Two-Terms Exponential Model	0,04185	0,1	-	-	-	-	-	0,97333	0,00359
9	Two-Terms Model	-	0,1	0,9175	-	0,00501	0,00501	-	0,99089	0,00147
10	Diffusion Approximation	0,05468	-0,14155	0,1	-	-	-	-	0,99541	$6,73 \times 10^{-4}$

NaCl

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		k	A	b	c	k1	k2	n	R ²	X ²
1	Newton	0,0067	-	-	-	-	-	-	0,98762	0,00166
2	Page Model	0,00334	-	-	-	-	-	1,13582	0,99579	$5,61 \times 10^{-4}$
3	Herderson and Pabis	0,00683	1,01751	-	-	-	-	-	0,99324	$9,02 \times 10^{-4}$
4	Modied Page Model	0,0066	-	-	-	-	-	1,14003	0,99579	$5,61 \times 10^{-4}$
5	Logarithmic Model	0,00676	1,02074	-	-	-	-	-	0,99329	$9,84 \times 10^{-4}$
6	Midilli-Kucuk	31,11374	1	$3,77 \times 10^{-5}$	-	-	-	59,85185	-0,04428	0,17027
7	Verma et al Model	-	-	-	-	0,1	0,1	-	0,46537	0,07132
8	Two-Terms Exponential Model	0,06	0,1	-	-	-	-	-	0,98517	0,00181
9	Two-Terms Model	-	0,1	0,9175	-	0,00683	0,00683	-	0,99324	$9,92 \times 10^{-4}$
10	Diffusion Approximation	0,01067	-29,1971	0,98253	-	-	-	-	0,99633	$4,89 \times 10^{-4}$

Saccharose

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		k	A	b	c	k1	k2	n	R ²	X ²
1	Newton	0,00281	-	-	-	-	-	-	0,87232	0,01681
2	Page Model	$1,23 \times 10^{-6}$	-	-	-	-	-	2,37003	0,97696	0,00337
3	Herderson and Pabis	0,00419	1,40355	-	-	-	-	-	0,94847	0,00754

Annexes

4	Modied Page Model	0,00321	-	-	-	-	-	2,369 91	0,97696	0,00337
5	Logarithmic Model	0,00446	1,38626	-	0,0340 1	-	-	-	0,95143	0,00799
6	Midilli-Kucuk	32,51192	-5,18065	1,14× 10 ⁻⁴	-	-	-	60,01 871	-1,19528	0,41296
7	Verma et al Model	-	- 1490162, 40	-	-	0,1	0,1	-	-1,28308	0,33404
8	Two-Terms Exponential Model	95,86075	2,93× 10 ⁻⁵	-	-	-	-	-	0,87231	0,01681
9	Two-Terms Model	-	0,70177	0,7017 7	-	0,00 419	0,004 19	-	0,94847	0,00969
10	Diffusion Approximation	0,0428	-0,44501	0,1	-	-	-	-	0,95273	0,00692

Acide Citrique

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		k	A	b	c	k1	k2	n	R ²	X ²
1	Newton	0,00615	-	-	-	-	-	-	0,98209	0,00248
2	Page Model	7,89× 10 ⁻⁴	-	-	-	-	-	1,396 53	0,99845	2,34× 10 ⁻⁴
3	Herderson and Pabis	0,00656	1,06461	-	-	-	-	-	0,98651	0,00204
4	Modied Page Model	0,006	-	-	-	-	-	1,397 61	0,99845	2,34× 10 ⁻⁴
5	Logarithmic Model	0,0063	1,07953	-	- 0,0184 4	-	-	-	0,98741	7,71× 10 ⁻⁴
6	Midilli-Kucuk	31,10607	1	3,59× 10 ⁻⁵	-	-	-	59,84 549	-0,11282	0,20568
7	Verma et al Model	-	- 3617056, 92	-	-	0,1	0,1	-	-0,06594	0,16119
8	Two-Terms Exponential Model	0,05506	0,1	-	-	-	-	-	0,96639	0,00466
9	Two-Terms Model	-	0,1	0,9645 3	-	0,00 655	0,006 56	-	0,98651	0,00224
10	Diffusion Approximation	0,07313	-0,18521	0,1	-	-	-	-	0,99356	9,73× 10 ⁻⁴

CaCl₂

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		k	A	b	c	k1	k2	n	R ²	X ²
1	Newton	0,00583	-	-	-	-	-	-	0,99448	6,93× 10 ⁻⁴

Annexes

2	Page Model	0,01705	-	-	-	-	-	0,8245	0,99773	$3,11 \times 10^{-4}$	
3	Herderson and Pabis	0,00637	0,94435	-	-	-	-	-	0,99509	$6,73 \times 10^{-4}$	
4	Modied Page Model	0,00576	-	-	-	-	-	1,14803	0,99773	$3,11 \times 10^{-4}$	
5	Logarithmic Model	0,00587	1,02866	-	-	0,00763	-	-	0,99524	$7,17 \times 10^{-4}$	
6	Midilli-Kucuk	31,10092	1	$4,25 \times 10^{-5}$	-	-	-	59,83565	-0,16662	0,19545	
7	Verma et al Model	-	-	5431842,37	-	-	0,1	0,1	-	-0,12151	0,15373
8	Two-Terms Exponential Model	0,05202	0,1	-	-	-	-	-	0,98553	0,00182	
9	Two-Terms Model	-	0,1	0,92268	-	0,00597	0,00598	-	0,99509	$7,4 \times 10^{-4}$	
10	Diffusion Approximation	0,06263	-0,0637	0,1	-	-	-	-	0,9963	$5,06 \times 10^{-4}$	

Tableau Annexe 9 : la modélisation d'oignon.

Témoin

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		k	A	b	c	k1	k2	n	R ²	X ²
1	Newton	0,00745	-	-	-	-	-	-	0,99064	$9,38 \times 10^{-4}$
2	Page Model	0,01705	-	-	-	-	-	0,8245	0,98213	0,00197
3	Herderson and Pabis	0,00637	0,94435	-	-	-	-	-	0,97991	0,00221
4	Modied Page Model	0,00716	-	-	-	-	-	0,82667	0,98213	0,00197
5	Logarithmic Model	0,00642	0,94269	-	0,0022	-	-	-	0,97993	0,00243
6	Midilli-Kucuk	31,7448	1	$3,55 \times 10^{-5}$	-	-	-	57,5983	0,26124	0,09882
7	Verma et al Model	-	0,85063	-	-	0,00572	1	-	0,98688	0,00144
8	Two-Terms Exponential Model	0,0497	0,12062	-	-	-	-	-	0,98428	0,00173
9	Two-Terms Model	-	-0,05565	1	-	0,00637	0,00637	-	0,97991	0,00243
10	Diffusion Approximation	0,06435	0,13883	0,1	-	-	-	-	0,99664	$3,68 \times 10^{-4}$

Acide Critique

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		k	A	b	c	k1	k2	n	R ²	X ²
1	Newton	0,00815	-	-	-	-	-	-	0,98736	0,00119
2	Page Model	0,0249	-	-	-	-	-	0,7778	0,99787	$2,18 \times 10^{-4}$

Annexes

3	Herderson and Pabis	0,0076	0,9495	-	-	-	-	-	0,99049	$9,75 \times 10^{-4}$
4	Modied Page Model	0,0087	-	-	-	-	-	0,7778	0,99787	$2,18 \times 10^{-4}$
5	Logarithmic Model	0,0083	0,9333	-	0,0250	-	-	-	0,99343	$7,41 \times 10^{-4}$
6	Midilli-Kucuk	23,6613	1	$4,0742 \times 10^{-5}$	-	-	-	26,7292	0,30559	0,08706
7	Verma et al Model	-	1	-	-	0,0081	0,0081	-	0,98736	0,0013
8	Two-Terms Exponential Model	0,0381	0,1774	-	-	-	-	-	0,99654	$3,55 \times 10^{-4}$
9	Two-terms Model	-	0,00999	1	-	$-4,2905 \times 10^{-4}$	0,00853	-	0,98872	0,00127
10	Diffusion Approximation	0,0642	0,1970	0,1007	-	-	-	-	0,99799	$2,26 \times 10^{-4}$

Acide Citrique +NaCl

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		k	A	b	c	k1	k2	n	R ²	X ²
1	Newton	0,01085	-	-	-	-	-	-	0,99932	$6,95 \times 10^{-5}$
2	Page Model	0,0090	-	-	-	-	-	1,0385	0,99952	$5,44 \times 10^{-5}$
3	Herderson and Pabis	0,0109	1,0045	-	-	-	-	-	0,99935	$7,34 \times 10^{-5}$
4	Modied Page Model	0,0107	-	-	-	-	-	1,0393	0,99952	$5,98 \times 10^{-4}$
5	Logarithmic Model	0,01099	1,0026	-	0,0025	-	-	-	0,99938	$7,62 \times 10^{-4}$
6	Midilli-Kucuk	147,5	1	$1,9546 \times 10^{-5}$	-	-	-	63,7651	0,44514	0,07623
7	Verma et al Model	-	1	-	-	0,0108	0,1	-	0,99932	$7,58 \times 10^{-5}$
8	Two-Terme Exponential Model	0,1	0,0974	-	-	-	-	-	0,99638	$3,72 \times 10^{-4}$
9	Two-terms Model	-	$3,4030 \times 10^{-4}$	1	-	-0,0020	0,0108	-	0,99943	$6,99 \times 10^{-5}$
10	Diffusion Approximation	0,0108	1	1	-	-	-	-	0,99932	$7,58 \times 10^{-5}$

Acide Citrique + CaCl₂

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		k	A	b	c	k1	k2	n	R ²	X ²
1	Newton	0,00605	-	-	-	-	-	-	0,99508	$5,68 \times 10^{-4}$
2	Page Model	0,0032	-	-	-	-	-	1,1214	0,99689	$3,91 \times 10^{-4}$
3	Herderson and Pabis	0,0062	1,0289	-	-	-	-	-	0,99604	$4,99 \times 10^{-4}$
4	Modied Page	0,0059	-	-	-	-	-	1,115	0,9969	$3,91 \times 10^{-4}$

Annexes

	Model							1		
5	Logarithmic Model	0,0064	1,0179	-	0,0142	-	-	-	0,99676	$4,49 \times 10^{-4}$
6	Midilli-Kucuk	0,5950	1	$5,3366 \times 10^{-5}$	-	-	-	10,99 14	0,03912	0,14809
7	Verma et al Model	-	1	-	-	0,006	0,1	-	0,99508	$6,20 \times 10^{-4}$
8	Two-Terme Exponential Model	0,1	0,0566	-	-	-	-	-	0,99025	0,00113
9	Two-terms Model	-	0,9289 7	0,1	-	0,006 23	0,00 623	-	0,99604	$5,49 \times 10^{-4}$
10	Diffusion Approximation	0,0557	-0,1069	0,1199	-	-	-	-	0,99778	$3,07 \times 10^{-4}$

Tableau Annexe 10 : la modélisation de betterave

Témoin

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		k	A	b	c	k1	k2	n	R ²	X ²
1	Newton	0,00387	-	-	-	-	-	-	0,97467	0,00352
2	Page Model	$3,03 \times 10^{-4}$	-	-	-	-	-	1,456 9	0,99397	$8,38 \times 10^{-4}$
3	Herderson and Pabis	0,00405	1,0448	-	-	-	-	-	0,97488	0,00349
4	Modied Page Model	0,00382	-	-	-	-	-	1,471 64	0,99454	$8,35 \times 10^{-4}$
5	Logarithmic Model	0,00386	1,06701	-	- 0,0024 8	-	-	-	0,97854	0,00365
6	Midilli-Kucuk	33,86232	1	$3,55 \times 10^{-5}$	-	-	-	62,56 71	-0,31507	0,25146
7	Verma et al Model	-	- $1,32 \times 10^{11}$	-	-	0,1	0,1	-	0,19425	0,12326
8	Two-Terms Exponential Model	1	0,00385	-	-	-	-	-	0,97423	0,00358
9	Two-Terms Model	-	0,5224	0,5224	-	0,00 405	0,004 05	-	0,97716	0,00437
10	Diffusion Approximation	0,00779	-78,0635	0,9889 3	-	-	-	-	0,99325	0,00103

Acide Critique + CaCl₂

N°	Les Modèles	Les paramètres du model							La régression du Model	
		k	A	b	c	k1	k2	n	R ²	X ²
1	Newton	0,00557	-	-	-	-	-	-	0,99466	$6,63 \times 10^{-4}$
2	Page Model	0,00233	-	-	-	-	-	1,163 09	0,99797	$2,76 \times 10^{-4}$
3	Herderson and Pabis	0,00567	1,01748	-	-	-	-	-	0,99503	$6,79 \times 10^{-4}$
4	Modied Page Model	0,00545	-	-	-	-	-	1,167 9	0,99797	$2,76 \times 10^{-4}$
5	Logarithmic Model	0,00553	1,06701	-	- 0,0103 2	-	-	-	0,99534	$7,06 \times 10^{-4}$

6	Midilli-Kucuk	33,89836	1	$3,67 \times 10^{-5}$	-	-	-	62,56 71	0,02073	0,16723
7	Verma et al Model	-	-	$2,22 \times 10^{11}$	-	0,1	0,1	-	0,27832	0,09859
8	Two-Terms Exponential Model	1	0,00554	-	-	-	-	-	0,99441	$6,93 \times 10^{-4}$
9	Two-Terms Model	-	$7,23 \times 10^{-9}$	1	-	24,1 1049	0,005 57	-	0,99466	$8,1 \times 10^{-4}$
10	Diffusion Approximation	0,05923	-0,06591	0,1	-	-	-	-	0,99597	$5,50 \times 10^{-4}$

Tableau Annexe 11 : représenter les résultats de l'humidité Résiduelle.

Banane	T	NaCl	CaCl₂	A. citrique	A. citrique + CaCl₂	A. citrique + Saccharose
Poids avt	2,5098	2,5058	2,5116	2,6293	2,5088	2,5540
Poids apr	2,3061	2,2967	2,3282	2,3856	2,2674	2,3599
Hres %	08,11	08,34	07,30	09,26	09,62	07,59
Pomme	T	NaCl	CaCl₂	A. citrique	Saccharose	Glucose
Poids avt	2,7135	2,2220	2,3420	2,2976	2,7825	2,9201
Poids apr	2,5247	2,0542	2,1893	2,1258	2,5743	2,7017
Hres %	06,95	07,55	06,52	07,47	07,48	07,47
Fraise	T	Glucose	Saccharose	A.citrique	CaCl₂	NaCl
Poids avt	2,8077	2,5445	2,5750	2,4530	2,7635	2,3811
Poids apr						
Hres %	07,69	07,32	07,13	08,21	09,33	06,94
Oignon	T	A. Ascorbique + CaCl₂	A. citrique + CaCl₂	A.Citrique + NaCl		
Poids avt	2,5859	2,5993	2,6776	2,7551		
Poids apr	2,3450	2,3364	2,3916	2,4438		
Hres %	09,31	10,11	10,68	11,29		
Betterave	T	A. Citrique	A. Citrique + CaCl₂			
Poids avt	4,0374	4,2585	4,1544			
Poids apr	3,8230	4,0693	3,8928			
Hres %	05,53	05,45	05,24			

Une humidité résiduelle d'un échantillon est considérée comme normale ou élevée, selon le tableau de référence suivant :

Tableau de Référence : Humidité Résiduelle Typique.

Ce tableau présente des valeurs typiques d'humidité résiduelle selon différents types de produits, à utiliser comme référence dans le cadre de l'analyse de produits végétaux ou alimentaires séchés.

Produit	Humidité résiduelle typique (%)	Référence
Poudre lyophilisée (pharma)	< 5 %	WHO, 2022 – Guidelines for freeze-dried biologicals
Poudre alimentaire séchée	5–10 %	FAO, 1997 – Drying Technologies
Farines ou céréales	10–14 %	Codex Alimentarius – Standard for Wheat Flour
Échantillons végétaux séchés	5–12 %	Springer, 2020 – Drying of plant materials
Produits microbiens lyophilisés	< 3–5 %	Ph. Eur. 10 – Lyophilised cultures

Peptone tamponnée (Buffered Peptone Water BPW)

Composant	Quantité
Peptone	10 g
NaCl	5 g
KH ₂ PO ₄	3.5 g
Na ₂ HPO ₄	1.5 g
Eau distillée	1000 ml
pH	7,0 ± 0,2
Autoclavé à 121 °C / 15 min	

PDA (Potato Dextrose Agar)

Composant	Quantité
Extrait de pomme de terre	4 g
Dextrose	20 g
Peptone	5g
Eau distillée	1000 ml
Agar	15-20 g
pH	6 à 7
Autoclavé à 120 °C / 30 min	

PCA (Plate Count Agar)

Composant	Quantité
Peptone	5,0 g
Extrait de levure	2,5 g
Glucose (dextrose)	1,0 g
Agar	15,0 g
Eau distillée qsq	1000 ml
pH	7,0 ± 0,2
Autoclavé à 121 °C / 15 min	

Illustration des étapes de préparation des échantillons pour analyses physico-chimiques

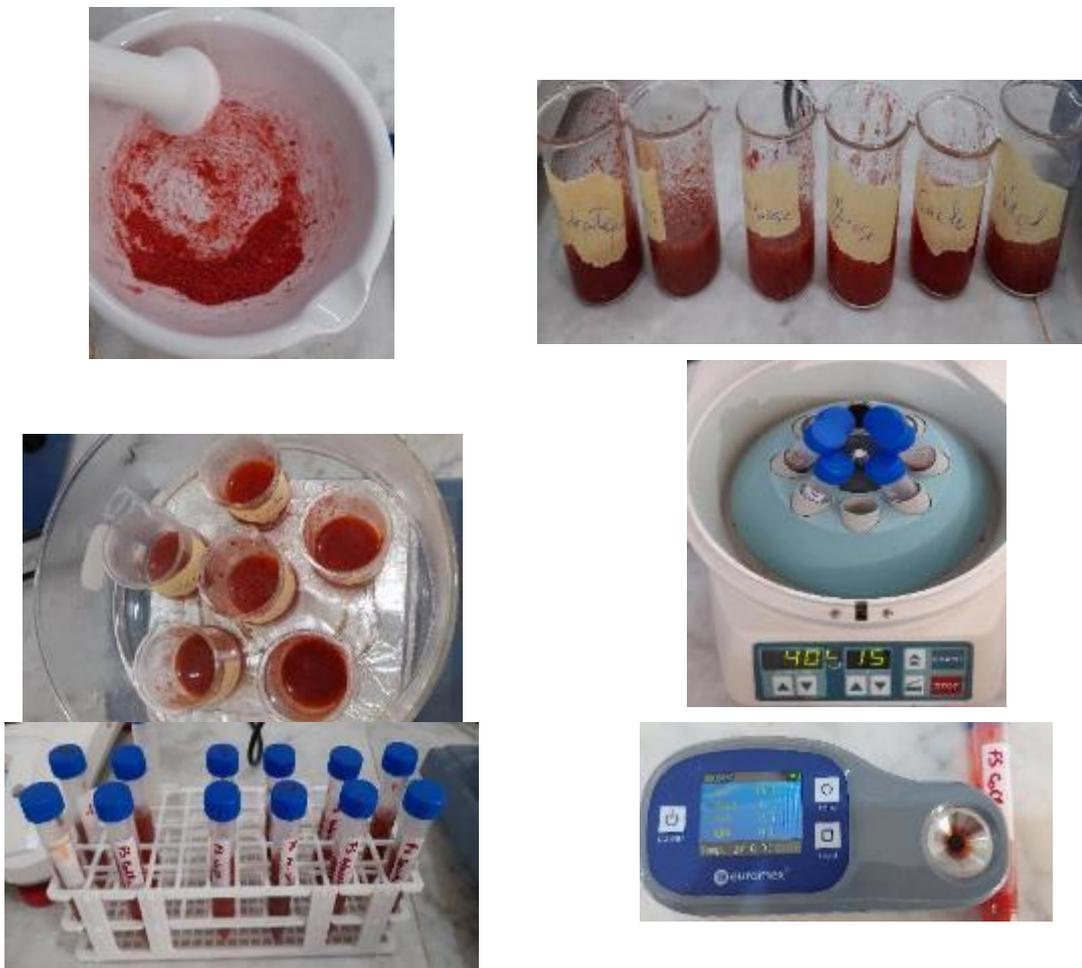
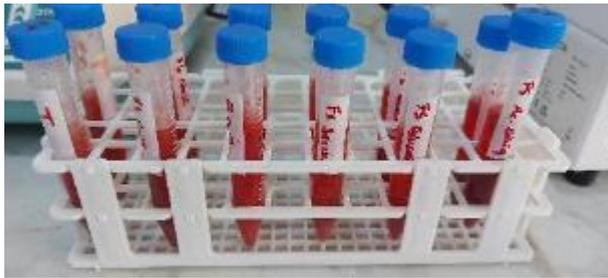
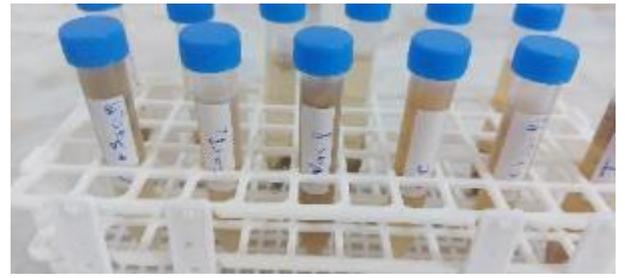


Figure Annexe 11 : Illustration de Manipulation pour calculer Degré de Brix.



Fraise



Pomme



Oignon



Banane



Betterave

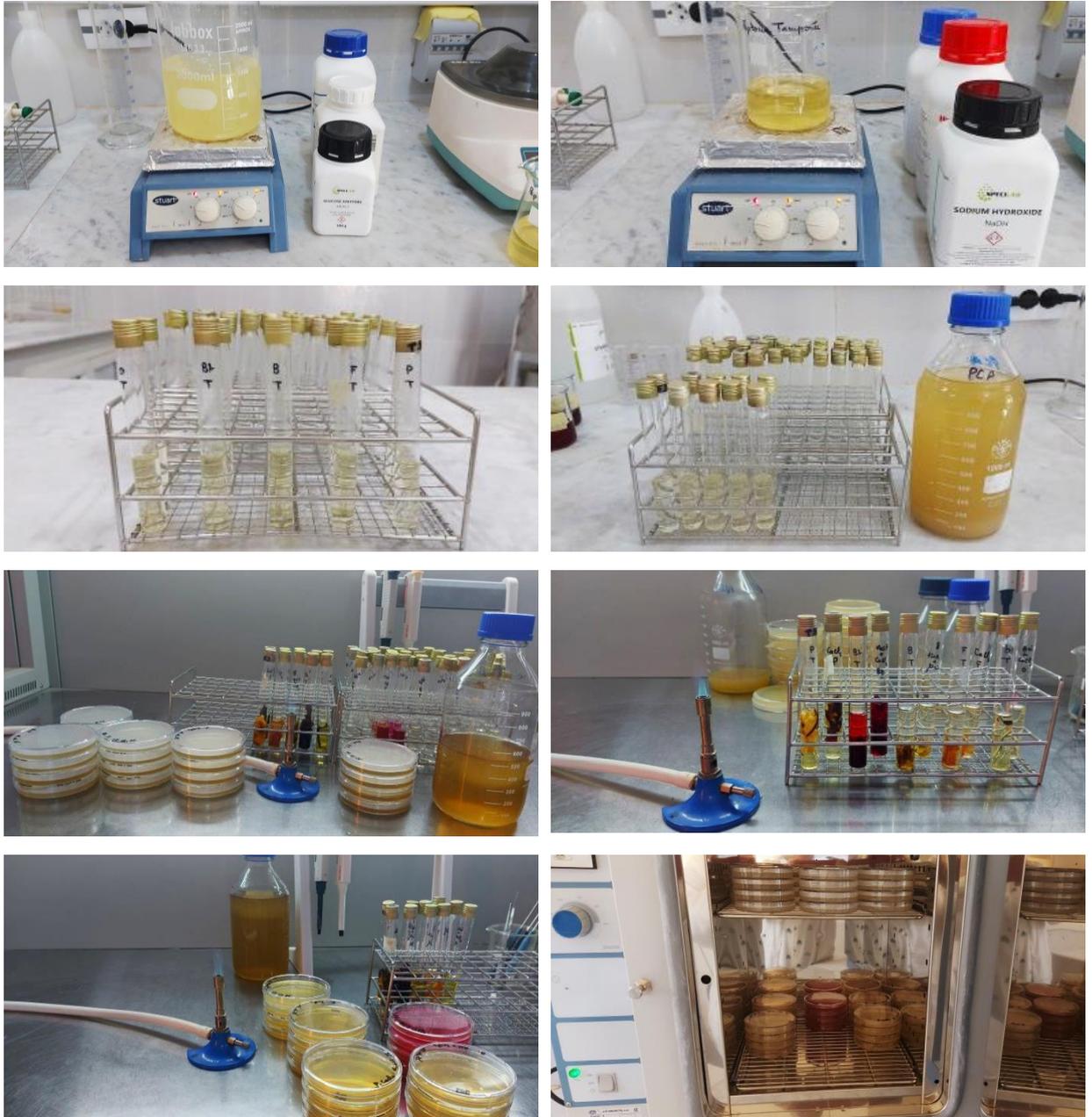
Figure Annexe 12 : Aspect des échantillons après centrifugation montrant la séparation des phases.



Figure Annexe 13 : Illustration de Manipulation pour calcule l'activité d'eau aw.



Figure Annexe 14 : Illustration de Manipulation pour calculer teneur en humidité (humidité résiduelle).



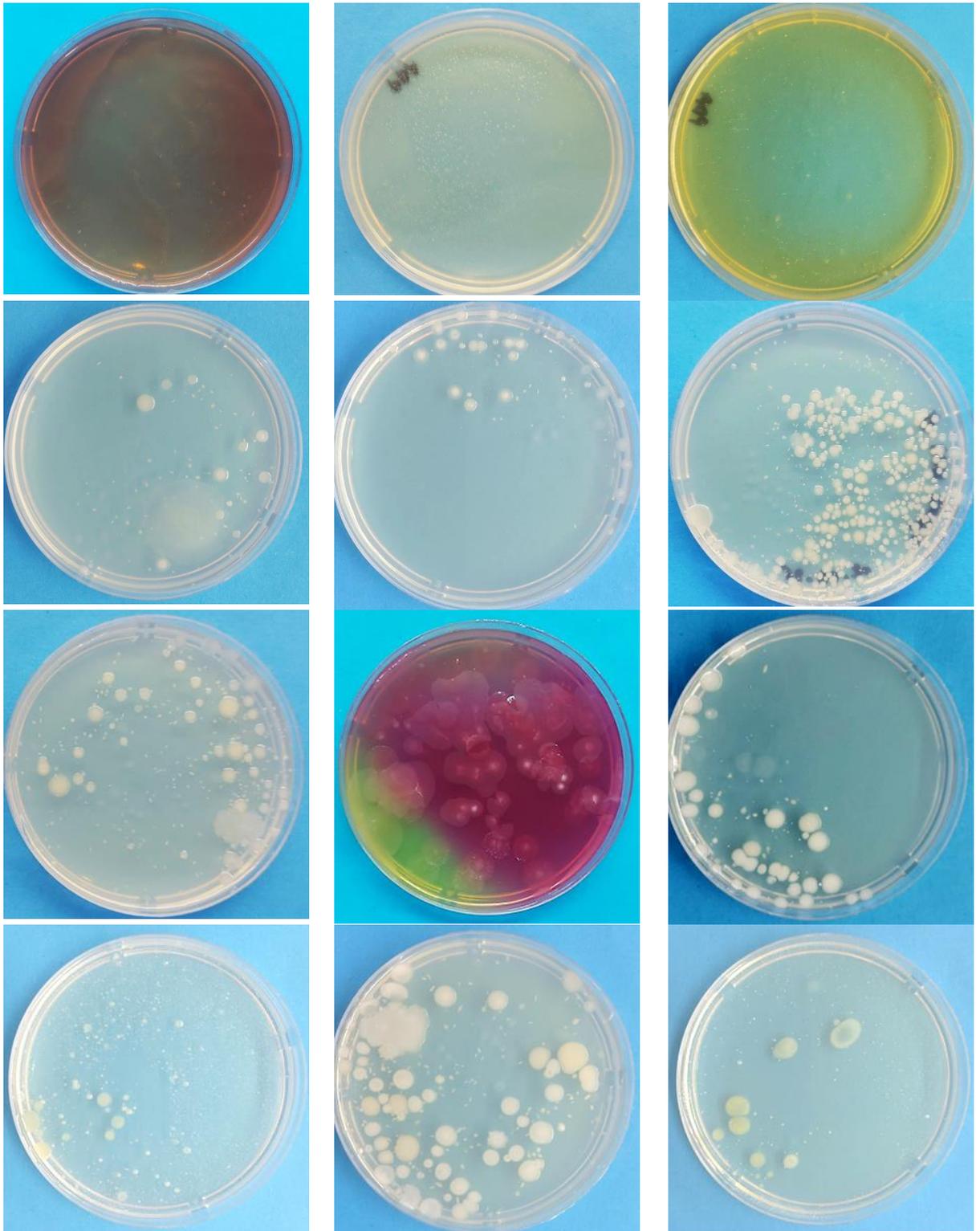


Figure Annexe 15 : Illustration du matériel de laboratoire utilisé pour les manipulations microbiologiques et des résultats de culture obtenus sur boîtes de Pétri.



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة غرداية



حاضنة الأعمال لجامعة غرداية

كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم هندسة الطرائق

مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر في الهندسة الكيميائية وفق القرار الوزاري 008 المعدل للقرار 1275
شهادة تخرج - مؤسسة ناشئة / براءة اختراع

تطوير حلول مبتكرة للتجفيف الشمسي المخصصة للفواكه والخضروات، من خلال دمج طرق المعالجة المسبقة ومجففات شمسية محسنة.

بعنوان:

تحت إشراف:

من إعداد الطالبين:

د. داود جمال

➤ حيمود أروى

د. بن صديق بد الوهاب

➤ الفاطمي فاطمة الزهراء

د. بيشي اسماعيل

الموسم الجامعي: 2025/ 2024 م

بطاقة معلومات: حول فريق الاشراف و فريق العمل

(1) فريق الاشراف :

فريق الشرف	
المشرف الرئيسي: داود جمال	التخصص: مدير باحث في وحدة البحث المركزية الطاقات المتجددة غرداية
المشرف المساعد: بن الصديق عبد الوهاب	التخصص: كلية العلوم و التكنولوجيا
المشرف المساعد: بيشي اسماعيل	التخصص: العلوم المالية و المحاسبة

(2) فريق العمل :

فريق المشروع	التخصص	الكلية
الطالب: حيمود اروى	هندسة كيميائية	العلوم و التكنولوجيا
الطالب: الفاطمي فاطمة الوهراء	هندسة كيميائية	العلوم و التكنولوجيا

صورة العلامة التجارية :



الاسم التجاري :

REVEDRY

فهرس المحتويات :

المحور الاول : تقديم المشروع

المحور الثاني: الجدوى الاقتصادية للمشروع

المحور الثالث : الدراسة التقنية الاقتصادية للمشروع

المحور الرابع: النموذج الاولي

المحور الاول : تقديم المشروع

1. تقديم المشروع :

مشروع REVYDRY هو مشروع صغير يهدف إلى إنتاج الفواكه والخضراوات المجففة من الفواكه المجففة الطبيعية، من خلال المعالجة المسبقة والتجفيف الشمسي غير المباشر، دون أي إضافات أو مواد حافظة صناعية. يستهدف المشروع في البداية السوق الجزائرية، مع إمكانية التصدير مستقبلاً.

2. فكرة المشروع :

انطلقت فكرتنا من ملاحظة الحاجة الملحة لتحسين جودة المنتجات الزراعية المجففة في الجزائر، والتي هي دولة غنية بالخضر و الفواكه و الحبوب و غيرها, ففكرة المعالجة المسبقة قبل تجفيف الخضار و الفواكه تساهم في المحافظة على المحاصيل من التلف ومن التعرض لأي خسائر بها, وذلك باستخدام طرق كيميائية و حرارية لإطالة عمرها الافتراضي وتتم هذه العملية دون التأثير على النكهة أو القيمة الغذائية و ضمان جودة عالية لهذه المنتجات, وبالتالي تسويقها و العمل على تلبية احتياجات و رغبات المستهلكين .

وهذا المشروع من أهم المشروعات التي تعمل في أي وقت من السنة، ففي مواسم زراعة المحاصيل يتم شراؤها وتجفيفها بشكل مباشر.

3. أهداف المشروع :

- تقييم تأثير طرق المعالجة المسبقة على جودة وسرعة تجفيف الفواكه والخضروات.
- تحديد الظروف المثلى للتجفيف لكل نوع من المنتجات بناءً على تركيبها وخصائصها.
- تحديد القيمة الغذائية.

المحور الثاني: الجدوى الاقتصادية للمشروع

1. وصف المشروع:

الأهداف: ما هي أهداف المشروع؟

- الهدف الرئيسي: إنشاء وحدة متخصصة في تجفيف الخضروات و الفواكه و تعبئتها، ذات جودة عالية وصالحة للتسويق المحلي والوطني.
- أهداف فرعية:

- تقليل فاقد المنتجات الزراعية خلال مواسم الوفرة.
- خلق قيمة مضافة للمنتجات المحلية .
- توفير منتج طبيعي وصحي بدون مواد حافظة.

- خلق فرص عمل مباشرة وغير مباشرة في الولاية.

المنتجات/ الخدمات: ما الذي سيتم إنتاجه أو تقديمه؟

منتجات رئيسية:

- ✓ شرائح خضروات مجففة: (بصل، شمندر ...)
- ✓ شرائح فواكه مجففة: (تفاح، موز، فراولة ...)
- ✓ مسحوق فواكه و خضر مجففة للاستخدام في العصائر ,اضافات صحية ,ملونات طبيعية

منتجات ثانوية مستقبلية:

- ✓ أعشاب عطرية مجففة: (زعر ، نعناع ، اكليل الجبل " تباع كثيرا في محلات العطارة..")

خدمة محتملة:

- ✓ تقديم خدمات المعالجة والتحليل الزراعي أثناء التشغيل (مثل تقييم جودة المنتجات)
- ✓ - تغليف وتوزيع المنتجات النهائية عبر خدمة التوصيل السريع

السوق المستهدف: من هم العملاء المحتملين؟

- محلات بيع التوابل والمنتجات الغذائية.
- متاجر الجملة والتجزئة بولاية غرداية
- الفنادق والمطاعم.
- الشركات والمؤسسات الخاصة
- الزبائن المهتمون بالمنتجات الصحية والطبيعية.

- إمكانية التوسع للتصدير (على المدى المتوسط).

الشراكات: هل هناك أي شراكات قيد النظر؟

تعاون محتمل مع:

- مزارعين محليين لتوريد المنتجات الطازجة.
- تعاونيات فلاحية لتسهيل جمع المحاصيل.
- مخبر تحاليل غذائية (إذا لم يُنجز داخليًا).
- موزعين محليين وشركات شحن صغيرة و التوصيل

2. دراسة السوق:

1. شدة المنافسة في السوق المحلي:

- تتسم بشدة ضعيفة نسبيًا.
- قلة عدد المنافسين المباشرين في السوق المحلي.

2. المنافسون المباشرون:

- مزارعون تقليديون.
- مشاريع فلاحية صغيرة تعتمد على طرق التجفيف التقليدية.
- غياب تام للمعالجة المسبقة قبل التجفيف.

نقاط قوتهم:

- انخفاض تكاليف التشغيل بفضل تقنيات تقليدية بسيطة.
- وجود سابق في السوق يمنحهم بعض الثقة من العملاء.
- انتشار منتجاتهم بشكل واسع بسبب الأسعار المنخفضة.

نقاط ضعفهم:

- ضعف الحفاظ على القيمة الغذائية للمنتجات.
- جودة منخفضة لا تواكب المعايير الحديثة.
- محدودية القدرة على التوسع أو التصدير بسبب ضعف التماشي مع متطلبات السوق الجديدة

3. المنافسون غير المباشرين:

- منتجات مستوردة (خاصة من تركيا، تونس، المغرب أو أوروبا).
- تتميز بجودة عالية.
- لا تُنتج محليًا في منطقة غرداية.
- أسعارها غالبًا أعلى

4. الحصص السوقية:

- تتفاوت بين المنافسين حسب:
- كفاءة الإنتاج.
- الخبرة الزمنية في السوق.
- مستوى الجودة.
- قنوات التوزيع.

5. فرص المشروع الجديد (الميزة التنافسية):

- الزيادة في استخدام تقنيات المعالجة المسبقة والتجفيف المتقدم.
- تحقيق جودة عالية يمكنها منافسة المنتجات المستوردة.
- غياب مشاريع مشابهة في المنطقة يمنح المشروع فرصة للتميز.

6. توصيات استراتيجية لمواجهة المنافسة:

- استغلال نقاط ضعف المنافسين المباشرين عبر:
 - تقديم منتج غذائي عالي الجودة.
 - الحفاظ على القيمة الغذائية للمنتج.
- بناء شبكة قوية مع الموردين والعملاء.
- التخطيط للتوسع المستقبلي نحو الأسواق الإقليمية (جنوب الجزائر، دول الجوار).

تحليل SWOT : نقاط القوة والضعف والفرص والتهديدات للشركة والسوق

تحليل SWOT	
<p>نقاط القوة</p> <ul style="list-style-type: none"> - توفر المواد الأولية محليا. - قلة المنافسة المنظمة: لا توجد وحدات صناعية كثيرة متخصصة في تجفيف الأغذية في الجنوب - التحكم في الجودة منذ البداية، من خلال استخدام آلات متخصصة , تحليل مخبري يعطي منتجا نظيفا و آمنا(ميزة تنافسية كبيرة) - عمر تخزين طويل للمنتج: المنتجات المجففة تخزن لمدة طويلة دون الحاجة للتبريد، مما يسهل البيع التدريجي و يوفر التكاليف - سهولة النقل و التوزيع: المنتج خفيف الوزن مقارنة بالمنتجات الطازجة، و يمكن نقله بكميات كبيرة و بأقل التكاليف 	
<p>نقاط الضعف</p> <ul style="list-style-type: none"> - ضعف ثقافة الاستهلاك المجففات محليا: بعض الزبائن يفضلون المنتج الطازج ، و لا يعرفون كيفية استخدام الفواكه ز الخضار المجففة - الحاجة للاستثمار أولي معتبر: تكلفة الآلات ، التغليف ، المخابر.. - محدودية يد العاملة المؤهلة - غياب العلامة التجارية المعروفة في البداية: 	

احتياج وقت معتبر لتعرف علامتنا التجارية وسط السوق	
<p>الفرص</p> <p>- تزايد الإقبال على المنتجات الصحية و الطبيعية</p> <p>- إمكانية التصدير عبر الجنوب</p> <p>- توفر الدعم الحكومي للمشاريع الفلاحية التحويلية</p> <p>- التوسع في التجارة الالكترونية: من خلال بيع المنتجات عبر مواقع تواصل الاجتماعي</p> <p>- التعاون مع المطاعم و فنادق الولاية</p>	
<p>التحديات</p> <p>- تقلب المستمر لأسعار الخضر و المواد الأولية في المواسم</p> <p>- منافسة المنتجات المستوردة منخفضة السعر</p> <p>- انقطاعات الكهرباء المتكرر في المناطق الجنوبية مما يؤثر على آلات المشروع</p> <p>- تغيرات الطقس و المواسم الزراعية مما يقلل من المحاصيل</p> <p>- غياب وعي المستهلك بالتغليف الصحي، من خلال تفضيل فئة من الزبائن الأرخص على الأمن أو المعقم الصحي.</p>	

اتجاهات السوق: ما هي تطورات السوق؟

- تزايد الاهتمام بالأغذية الصحية والطبيعية.
- انتشار المتاجر العضوية والمتاجر الإلكترونية.
- الطلب المتزايد من الفنادق والمطاعم على منتجات طويلة الحفظ.

حجم السوق: ما هي إمكانات السوق؟

- السوق المحلي (غرداية + ولايات الجنوب): فرصة كبيرة بسبب قلة الموردين.
- السوق الوطني: فرص أكبر خاصة إذا رُبط المشروع بسلسلة توزيع قوية.
- إمكانية التصدير للنيجر وليبيا وتونس و موريتانيا مستقبلا.

3. الخطة العملية:

الموارد البشرية: ما هي الاحتياجات من الموظفين؟

- ❖ مدير المشروع (المالك).

- ❖ عامل غسيل/تقطيع.(2)
- ❖ مشغل آلة التجفيف والتعبئة.(1-2)
- ❖ تقني جودة أو مخبري.(1)
- ❖ عامل نظافة ومساعدة.(1)
- ❖ سائق وموزع (1 حسب الحاجة).

< المجموع مبدئيًا: من 5 إلى 7 عمال.

المسار: كيف سيتم تنفيذ الأنشطة؟



التكنولوجيا: ما هي الأدوات والتقنيات التي سيتم استخدامها؟

- آلات كهربائية: غسيل، تقشير، تقطيع، تجفيف، تعبئة.
- مخبر تحاليل مبسط.
- برامج إدارة مخزون ومحاسبة.
- تسويق رقمي (فيسبوك، أنستغرام) أو بيع مباشر .
- معدات مراقبة الجودة .

الموقع: أين سيكون موقع المشروع؟

موقع الورشة: في ولاية غرداية، بفضل قريبة من المزارع أو السوق الجهوي.

4.تقييم المخاطر:

تحديد المخاطر: ما هي المخاطر المحتملة؟

- تلف المنتجات إذا فشلت مرحلة التعبئة أو التخزين.
- عدم مطابقة معايير الصحة والتلوث و التسمم الغذائي
- تكس المنتجات في المخازن
- إجراءات و مراقبة الدولة و القوانين و التشريعات و الغرامات و العقوبات القانونية
- تقلب أسعار المواد الأولية.
- ضعف الإقبال المحلي في البداية.
- تعطل الآلات وتلف المنتجات

تقييم الأثر: ما هو الأثر المحتمل لكل خطر؟

- ❖ رفع التكلفة وتقليل الربح
- ❖ إيقاف أو تعطل الإنتاج وإتلاف الدفعة
- ❖ تباطؤ في استرجاع الاستثمار و تكاليف المشروع
- ❖ فقدان الثقة في المنتج و خسارة الزبائن

❖ زوال أو تجميد المشروع و المؤسسة من السوق

إجراءات تخفيف المخاطر: ما هي التدابير التي ينبغي اتخاذها لتقليل المخاطر؟

- شراء المواد بكميات كبيرة في الموسم لتقليل التكلفة.
- تجهيز مولد كهربائي احتياطي.
- تجربة تسويق وتوزيع في البداية قبل توسيع الإنتاج.
- تدريب العمال على سلامة الأغذية.
- مراقبة دقيقة لمراحل التعبئة والتخزين.
- التزام بمعايير السلامة و الصحة الغذائية
- - تسديد الضرائب في وقتها و تسوية الوضعية المؤسسية مع الدولة

5. الخلاصة والتوصيات:

ملخص النتائج: ملخص النتائج الرئيسية للدراسة.

من حيث الجدوى الفنية:

1. المشروع قابل للتنفيذ تقنياً باستخدام معدات كهربائية حديثة (آلة تقشير، آلة تقطيع، آلة تحفيف، آلة تعبئة).
2. المواد الأولية (خضروات وفواكه) متوفرة بكميات جيدة في ولاية غرداية ومناطق الجنوب.
3. يمكن اعتماد مساحة صغيرة إلى متوسطة في المقر للبدء بتكاليف معقولة.
4. المشروع لا يتطلب خبرات صناعية معقدة، ويمكن تدريب الفريق خلال أسابيع.

من حيث السوق والطلب:

5. السوق المحلي يعاني من نقص في المنتجات المجففة المنتجة محلياً والمعبأة بجودة عالية.
6. يوجد طلب متزايد على الأغذية الصحية والطبيعية، ما يجعل المنتج مرغوباً لدى فئة واسعة من الزبائن.
7. يمكن استهداف عدة شرائح: المستهلك النهائي، المحلات، المطاعم، والفنادق.
8. توجد فرص للتوسع لاحقاً في أسواق الجنوب أو العاصمة أو حتى التصدير إلى دول الجوار.

من حيث التنافسية:

9. المنافسة المباشرة في غرداية ضعيفة أو غير منظمة، مما يمنحك ميزة الدخول بقوة.
10. المنافسون غير المباشرين (مستوردو فواكه مجففة أو محلات العطارة) لا يقدمون منتجات بجودة عالية أو تغليف احترافي، ما يسمح لك بالتميز.
11. وجود مخبر بسيط لتحليل جودة المنتجات داخل الورشة يعطي المشروع ثقة إضافية في التسويق.

المحور الثالث: الدراسة التقنية الاقتصادية للمشروع

I. تعريف المشروع

النشاط

قطاع النشاط	النشاط
الصناعات الغذائية	<ul style="list-style-type: none"> • انتاج فواكه و خضر مجففة • إضافة الى نكهات و ملونات

نوع الاستثمار المزمع:

توسيع طاقة النشاط الحالي	إنشاء نشاط جديد
<input type="checkbox"/>	نعم

خطة التنفيذ:

- الجدول الزمني: التسلسل الزمني لمراسل انجاز المشروع

الشهر أو الأسبوع

7	6	5	4	3	2	1		
				✓	✓		الدراسات الأولية: إختيار مقر الوحدة الإنتاجية، تجهيز الوثائق المطلوبة	1
			✓	✓			طلب التجهيزات من الداخل	2
			✓	✓			بناء مقر للإنتاج (المصنع)	3
				✓	✓		تركيب المعدات	...
	✓	✓					اقناء المواد الأولية	ن
✓							بداية انتاج أول منتج	...

الأعمال

- الموارد: تخصيص الموارد البشرية والمادية والمالية اللازمة
1 / الموارد البشرية

الوظيفة	الدور الأساسي
مشغل آلة الإنتاج	الإشراف على عمليات التجفيف ومراقبة أداء المعدات والعمليات
عامل التحضير والتغليف	تنفيذ مهام التقطيع، التعقيم، المعالجة، التعبئة، واللصق
مدير المشروع/الإدارة	قيادة العمليات، إدارة المشتريات، الإشراف على التسويق والعلاقات العامة
مستشار الجودة/الرقابة الصحية (دوام جزئي)	متابعة السلامة الغذائية وضمان التوافق مع المعايير وتوثيق الإجراءات

2 / الموارد المادية (الآلية)

الوظيفة	الأصل المادي
التجفيف مع الحفاظ على القيمة الغذائية	آلة تجفيف شمسي
تجهيز الفواكه والخضر بسرعة و دقة متساوية	آلة تقطيع الفواكه والخضر
حفظ المنتج وتقديمه في شكل احترافي	آلة التعبئة والتغليف
قياس الرطوبة ونسبة السكر و الوزن	أدوات مراقبة الجودة
التحضير و التخزين و التعبئة	ورشة إنتاج مجهزة
توزيع المنتج محليا و جهويا	وسيلة نقل

3 / الموارد المالية

- التكلفة الاستثمارية 346000000 دج.
- التكاليف التشغيلية للسنة الأولى 450393600 دج.
- المطلوب 796393600 دج.
- التخطيط: استراتيجيات العرض والتنفيذ.

أولاً: استراتيجية العرض

التفاصيل	النشاط
3 أنواع فواكه: فراولة، موز، تفاح 2 أنواع خضروات: البنجر، البصل	إطلاق خط منتجات رئيسي
عبوات بـ 15 غ، 25 غ، 35 غ لتلبية مختلف احتياجات المستهلكين	تنوع أحجام العبوات
مسحوق فراولة وموز مجفف يستخدم في العصائر والزبادي والحلويات	إطلاق مسحوق الفاكهة المجفف
تصميم العلامة التجارية	علامة عصرية تعكس القيم الصحية والطبيعية والبيئية، بألوان طبيعية وزخارف محلية
تسويق المنتجات الترويجية	توزيع عبوات تجريبية صغيرة الحجم في المتاجر الصحية والمعارض

ثانياً: استراتيجية التسويق

القنوات والمنهجية	النشاط
• عبر مواقع التواصل الاجتماعي Facebook, Instagram, WhatsApp Business • نشر وصفات باستخدام المنتجات	التسويق الرقمي
المشاركة في المعارض الفلاحية والغذائية الوطنية	لأنشطة الميدانية
نشر فيديوهات حول فوائد التجفيف الشمسي وأهمية الغذاء الصحي	محتوى توعوي
عروض خاصة في رمضان، الصيف، موسم العودة إلى المدارس	الحملات الموسمية

ثالثاً: استراتيجية التوزيع

القناة	الآلية
التوصيل المباشر	التوصيل إلى ولايات الجزائر
المتاجر الصحية	التعاقد مع محلات التغذية الصحية مثل
المنصات الرقمية	بيع عبر الطلب على واتساب بيزنس، فيسبوك، إنشاء موقع لاحق
الدفع	بيع عبر الطلب على واتساب بيزنس، فيسبوك، إنشاء موقع لاحقاً

رابعاً: خطة التنفيذ

المرحلة	الأنشطة الأساسية	الإطار الزمني
التحضير والإعداد	شراء المعدات - تركيب المجففات - تدريب الفريق	شهر 1-2
الإنتاج الأولي	تجفيف أول دفعات الفراولة، الموز، التفاح والبنجر والبصل	شهر 3
التوزيع التجريبي	توزيع في 3 متاجر + اختبار الطلب الرقمي	شهر 4
جمع الملاحظات	استطلاع رضا المستهلكين حول الطعم، الشكل، التغليف	شهر 5
التوسع في السوق	التوسع إلى ولايات إضافية والمنصات الإلكترونية	شهر 6-7-8
التقييم والتطوير		مستمر

خامساً: الفائدة الاستراتيجية للمشروع

- تثمين المنتجات المحلية الموسمية (تفاح وفراولة وموز وبنجر وبصل).
- الحد من ضياع الفواكه والخضروات الموسمية.
- تقديم منتج صحي بدون مواد حافظة.
- دعم الاقتصادي المحلي عبر الشراء المباشر من الفلاحين.
- حماية البيئة من خلال استعمال الطاقة الشمسية وتقليل التبريد الغذائي.

II. الخصائص التقنية للمشروع

1. قائمة شاملة للمعدات

وصف مفصل للخصائص التقنية للمعدات.
يجب أن تتوافق المعدات والمواد مع المعايير السارية المفعول.

المورد (الموردون)	الخصائص التقنية	المعدات اللازمة
محلي	تجفيف الخضر و الفواكه	الات التجفيف الشمسي
مورد محلي	تقطيع شرائح بحجم موحدة (من الفولاذ المقاوم للصدأ)	آلة تقطيع الفواكه و الخضر اوتوماتيكية
مورد محلي	لحام حراري -سعة الانتاج 20 عبوة /الدقيقة -أكياس ميتاليزد	آلة تعبئة و تغليف
مورد محلي	طابعة - تعمل أوتوماتيك - طابعة رقم الدفعة والتاريخ	آلة طباعة تواريخ
مورد محلي	حساسية 0.01 غ - شاشة LCD - سعة حتى 30 كغ	ميزان رقمي دقيق
مورد محلي	تحليل نسبة الرطوبة - دقة 0.1% - نسبة السكر	معدات مراقبة الجودة
مورد محلي	فولاذ مقاوم - تصريف مياه - مضخة تعقيم	أحواض غسل وتعقيم
مورد محلي	طاولة تجهيز نظيفة	طاولة تحضير
مورد محلي	كمادات، قفازات، أغطية رأس، مازر أحمية أمان	معدات السلامة والوقاية
مورد محلي	فرش خاصة، بخاخات تعقيم، منظفات غذائية أمنة	معدات تنظيف صناعية
مورد محلي	-تركيب صناعي أمن - تهوية طبيعية ومساعدة - إضاءة LED	تجهيز الورشة كهرباء - تهوية إضاءة

ب. وصف المشروع

1/ عملية الإنتاج

تمر عملية إنتاج الفواكه والخضروات المجففة بالمراحل التالية:

1	اقتناء المواد الأولية	شراء الفراولة، الموز، التفاح، البنجر والبصل من الأسواق المحلية والفلاحين الموسمين
2	الفرز والغسل والتعقيم	اختيار أفضل الثمار وتنظيفها بطريقة تحافظ على قيمتها الغذائية
3	التقطيع والمعالجة	يتم التقطيع حسب نوع المادة (يدويًا أو آليًا) مع تطبيق معالجات مثل النقع

	المسبقة	في محلول مضاد للأكسدة أو تبخير خفيف للحفاظ على اللون والنكهة
4	التجفيف	توضع القطع في مجفف شمسي الغير المباشر محسن يعمل بطاقة شمسية وهجينة، لضمان تجفيف متوازن في مدة معينة حسب المنتج
5	الفحص النهائي	يتم التأكد من جودة المنتج النهائي
6	التعبئة والتغليف	تعبئة المنتج للحفاظ على الطازجة والقيمة الغذائية
7	التوسيم	وضع بطاقة غذائية وبيانات الصلاحية
8	التخزين	حفظ المنتجات في غرف جافة وجيدة التهوية
9	التوزيع	التوزيع إلى المتاجر الصحية أو عبر الطلبات الرقمية

2/ القدرة الإنتاجية :

- دورة تجفيف واحدة 20 كغ مواد أولية → إنتاج نهائي ≈ 3.5 إلى 5 كغ حسب المنتج.
- الإنتاج الشهري 16 :دورة شهرياً → إنتاج شهري ≈ 56 - 80 كغ.
- الإنتاج السنوي التقريبي 960 - 700 كغ من المنتجات النهائية.

المادة الأولية	الوزن قبل التجفيف (كغ)	نسبة الرطوبة	الوزن بعد التجفيف (كغ)
التفاح	20	84 %	3.2
الموز	20	77%	5
الفراولة	20	95%	1.8
البنجر	20	89%	4
البصل	20	92%	1.2

3/ وصف المنتج النهائي:

- عبوات صغيرة 15 غ، 25 غ، 35 غ من شرائح الفواكه والخضروات المجففة.
- لا تحتوي على مواد حافظة أو سكر صناعي.
- الحفاظ على 90%-95% من القيمة الغذائية الأصلية.
- مدة صلاحية تصل إلى 18 شهراً في التغليف المحكم.
- القوام مقرمش طبيعي، والطعم يحتفظ بنكهته الأصلية.

4/ المزايا التنافسية :

- منتج طبيعي 100%، مغذي وآمن للصحة.
- بديل صحي عن الحلويات والوجبات الخفيفة الصناعية.
- تصنيع محلي بجودة تضاهي المستورد، وسعر منافس.
- سهل التوزيع والتخزين والنقل بسبب التغليف المحكم.
- مناسب للأطفال، الرياضيين، ومرضى السكري.

5/ القيمة المضافة:

- تثمين المنتجات الموسمية المحلية.
- تقليل ضياع الإنتاج الفلاحي وتحويله إلى منتجات طويلة الأمد.
- دعم النشاط الفلاحي المحلي وخلق فرص عمل.
- تقليل الأثر البيئي باستخدام الطاقة الشمسية وتقليل النفايات الغذائية.

III. الموارد البشرية

طبيعة المستخدمين	العدد	أجر الوحدة (دج/السنة)	الأجر الاجمالي (دج/السنة)
مسير المشروع	2	600000	1200000
عامل غسيل و تقطيع	2	360000	720000
مشغل آلة التجفيف و التغليف	2	420000	840000
تقني جودة او مخبري	1	540000	540000
عامل نظافة و مساعدة	1	300000	300000
سائق و موزع	1	400000	400000
المجموع	9		4000000

IV. التحليل المالي

ينبغي أن تكون الافتراضات التي تم أخذها بعين الاعتبار في التحليل المالي واضحة وواقعية وموافقة للقيم المعمول بها.

ا- تركيبة الاستثمار (السنة الأولى من النشاط)

المبلغ (دج)	التسمية
2,260,000.00 دج	معدات الانتاج
70,000.00 دج	معدات المكتب
50,000.00 دج	معدات الإعلام الآلي
-	المعدات السمعية والبصرية (الإعلامية)
50,000.00 دج	معدات الاتصال
100,000.00 دج	تركيب التجهيزات
600,000.00 دج	التهيئة
30,000.00 دج	العناد المتنقل
100,000.00 دج	التأمينات المتعلقة بالإنشاء
200,000.00 دج	صندوق الضمان
4,503,936.00 دج	رأس المال العامل
7,963,936.00 دج	المجموع

ب- التركيبة المالية

المبلغ (دج)	النسبة	العنوان
4000000	50%	المساهمة الشخصية
4000000	50%	القرض بدون فائدة كلاسيكي
-		القرض البنكي
8000000	100%	المجموع

ت. التوقعات المالية (السنة الأولى من النشاط)

المبلغ (دج)	العنوان
-------------	---------

رقم الأعمال	6,500,000,00 دج
شراء المواد الأولية	1,300,000,00 دج
اللوازم المستهلكة	1,100,000,00 دج
تكاليف النقل	840,000,00 دج
تكاليف الايجار	600,000,00 دج
استهلاك الكهرباء والغاز والمياه	820,000,00 دج
أعباء المستخدمين	843,936,00 دج
تكاليف التأمينات	100,000,00 دج

ث. جدول حساب النتائج

العنوان	السنة 01	السنة 02	السنة 03	السنة 04
رقم الأعمال (1)	6,500,000,00 دج	6,825,000,00 دج	7,166,250,00 دج	7,524,562,50 دج
المشتريات المستهلكة (2)	1,100,000,00 دج	1,155,000,00 دج	1,212,750,00 دج	1,273,387,50 دج
الأعباء الخارجية (3)	3,160,000,00 دج	2,460,000,00 دج	2,460,000,00 دج	2,460,000,00 دج
القيمة المضافة (4) = (1) - (2) - (3)	2,240,000,00 دج	3,210,000,00 دج	3,393,500,00 دج	3,791,175,00 دج
الأجور و الأعباء الاجتماعية (5)	843,936,00 دج	843,936,00 دج	1,203,936,00 دج	1,203,239,00 دج
إجمالي فائض الاستغلال (6) = (4) - (5)	1,396,064,00 دج	2,366,064,00 دج	2,289,564,00 دج	2,587,239,00 دج
الإهلاكات و المؤونات (7)	482,000,00 دج	482,000,00 دج	482,000,00 دج	482,000,00 دج
نتائج الاستغلال (8) = (6) - (7)	914,064,00 دج	1,884,064,00 دج	1,807,564,00 دج	2,105,239,00 دج
الضرائب على الشركات (9)	-	-	-	-
صافي الدخل (10) = (8) - (9)	914,064,00 دج	1,884,064,00 دج	1,807,564,00 دج	2,105,239,00 دج
تطور رقم الأعمال	0	5%	5%	5%
معدل القيمة المضافة (3) / (1)	34%	47%	48.74934589	50.38399242
معدل إجمالي فائض الاستغلال (6) / (1)	21%	35%	31.94926217	34.38381269
القدرة على التمويل الذاتي (10) + (7)	1,396,064,00 دج	2,366,064,00 دج	2,289,564,00 دج	2,587,239,00 دج

ج. مؤشرات الجدوى المالية

صافي القيمة الحالية (VAN)	54677624 دج
المدة الزمنية للاسترداد (DR)	5 سنوات

1	1396064×0.909	1,269,022.18 دج
2	2366064×0.826	1,954,368.86 دج
3	2289564×0.751	1,719,462.56 دج
4	2587239×0.683	1,767,084.24 دج
5	2899797×0.621	1,800,774.40 دج
المجموع	/	8,510,712.24 دج

VAN	تكلفة الاستثمار	546,776.24 دج
-----	-----------------	---------------

المحور الرابع: النموذج الاولي

- نتائج المعالجة المسبقة للفراولة :
- في المجفف الشمسي الغير مباشر :



- نتائج المعالجة المسبقة للتفاح:
- في المجفف الشمسي الغير مباشر :



□ المعالجة المسبقة للبنان :
○ في المجفف الشمسي الغير مباشر :





□ المعالجة المسبقة للبصل :
○ في المجفف الشمسي الغير مباشر :





□ المعالجة المسبقة للشمندر :
○ في المجفف الشمسي الغير مباشر :



□ المنتج النهائي :



نموذج الأعمال

يصف نموذج الأعمال الطريقة التي تقوم بها المؤسسة بإنشاء القيمة وتقديمها والتقاطها.

حدد نموذج العمل لمشروعك في بضع جمل. (ماذا؟ من؟ كيف؟ وكم؟)

- ماذا تبيع ولماذا؟ (عرض القيمة الخاصة بك)

- ولمن تبيعه؟ (عملائك)

- ما هي الموارد التي تبيعها بها؟ (الشركاء، الموارد الرئيسية)

- كيف تبيعه؟ (قنوات التوزيع، علاقات العملاء)

- بكم تبيعه؟ (تدفق الإيرادات، هيكل التكلفة)

نموذج العمل:

. ماذا تبيع ولماذا؟

أبيع منتجات طبيعية جاهزة للاستهلاك (خضروات وفواكه مجففة)، لتلبية حاجة السوق المتزايدة إلى

أطعمة صحية وطازجة، موفرة للوقت، وأمنة من حيث النظافة والجودة.

. لمن تبيعه؟

أستهدف المطاعم، الفنادق، محلات الجملة والتجزئة، دور مناسبات الأعراس، الشركات والمصانع، وأيضًا

الأفراد الباحثين عن منتجات طبيعية سريعة التحضير (المستهلك العادي).

. ما هي الموارد التي تبيعها بها؟

أعتمد على شراكات مع فلاحين وموردين محليين للمواد الأولية، وأستخدم آلات نصف أوتوماتيكية

مستوردة، يد عاملة مدربة، ومقر ورشة مجهز بنظام تبريد وقلتر.

. كيف تبيعه؟

أوزع عبر شركات التوصيل والشحن المحلي الخاص بمشروعي (شاحنة خاصة) ، وأؤسس علاقات

مباشرة مع العملاء عبر الطلبات الهاتفية، الرقمية، والعلاقات التعاقدية مع الزبائن الدائمين. (B2B)

. بكم تبيعه؟

أسعار البيع تعتمد على هيكل التكاليف على المواد الأولية، أجور العمال، التوزيع، الاستهلاك الطاقوي،

واللوجستيك، مع هامش ربح محسوب ومُستدام.

				
الشركاء الرئيسيون	الأنشطة الرئيسية	عرض القيمة	العلاقة مع العملاء	العملاء (الشرائح المستهدفة)
<ul style="list-style-type: none"> - حاضنة الأعمال - جامعة غرداية - المزارعين - موردو المواد الأولية: موردو الخضر المحليين موردو أدوات التعبئة و التغليف - موردو الآت و الأجهزة - شركات التوصيل - تقنيون في الصيانة - التعاون مع الجمعيات الزراعية. - مديرية مراقبة الجودة 	<ul style="list-style-type: none"> - شراء المواد الأولية - مباشرة الإنتاج عبر عمليات التقشير وتقطيع وتجفيف التنظيف والتعبئة و التغليف / - التخزين ثم التوزيع - الصيانة والمراقبة المستمرة - التسويق و البيع تطوير الشراكات والعلاقات- التجارية. 	<ul style="list-style-type: none"> - توفير الوقت والجهد على الزبائن وتقليل الهدر. - تغليف آمن واحترافي يحترم معايير الجودة وسلامة المنتج. - توصيل سريع وموثوق تقليل الفاقد الزراعي من الفواكه -والخضروات. تحسين جودة المنتجات المجففة من خلال معالجة مسبقة صحية. توفير منتجات خالية من المواد الحافظة. منتجات جاهزة للتجفيف 	<ul style="list-style-type: none"> - علاقات شخصية مع كبار العملاء (طلبات هاتفية+ متابعة) - تخصيص العروض حسب العميل - خدمات ما بعد البيع و التوصيل السريع لضمان رضا الزبائن + التغذية الراجعة و التحسين المستمر للمنتج و للخدمات. - الحفاظ على العملاء عبر عروض دورية و تخفيضات تصميم موقع سهل التعامل به يوفر عرضالمعلومات عن منتجاتنا و اقتراحاتنا و سهولة الاتصال بالزبائن- 	<ul style="list-style-type: none"> - المستهلك العادي(المرأة العاملة/ المرأة الماكثة في البيت) - دور الأعراس و المناسبات - المطاعم و الفنادق - المؤسسات بكل أشكالها و أنواعها و الشركات و المصانع

<p>-مؤسسات الدعم و المراقبة ،مثل: (البنوك، الجهات الحكومية لدعم المشاريع الزراعية, مراكز البحوث الزراعية والغذائية</p>	 <p>الموارد الرئيسية</p> <p>- الموارد البشرية (اليد العاملة) - الموارد المادية: (المقر ، المخزون، معدات من مختلف الآت المشروع ، لوازم النظافة و السلامة الغذائية، مواد الأولية..) - رأس المال المشروع - العلامة التجارية و السمعة -فريق فني متخصص في المعالجة الغذائية. -علاقات تعاقدية مع الموردين والمزارعين. -تراخيص صحية وجودة</p>	<p>بطريقة آمنة ومعايير صحية. دعم سلسلة التوريد الغذائي المحلية والمستدامة. تعزيز الجودة للحصول على منتجات ذات جودة عالية توفير الطاقة من خلال استخدام طاقة الشمس تخفيض تكلفة الانتاج</p>	 <p>قنوات توزيع</p> <p>- المبيعات المباشرة (حسب الطلب) للمطاعم و الشركات...، (عبر شاحنة التوصيل المؤسسة/ عبر شركات التوصيل/ عبرتوصيل خاص بي) - تجار الجملة و التجزئة (محلات الغذائية العامة..) - البيع عبر الأنترنت (مستقبلا)</p>	<p>- المحلات الغذائية للجملة و التجزئة -تقسيم حسب الموقع الجغرافي (محلي ولائي ,ولاية غرداية و ماجاورها) -التوزيع يكون لكل الوطن ولما تصدير هذه الفواكه و ادخال العملة الصبغة والرفع من الاقتصاد الوطني</p>
--	--	--	--	--

 تكاليف	 المداهيل (مصادر الدخل)
<p>تكاليف شراء المواد الاولية(الخضروات والفواكه) .الايجار والمرافق</p> <p>تكاليف التشغيل والصيانة</p> <p>تكاليف الاجور والرواتب</p> <p>تكاليف التعبئة والتغليف الصحي</p> <p>رخص، تأمين...).</p> <p>تكاليف النقل واللوجستيات</p> <p>تكاليف الالات والمعدات</p> <p>تكاليف التعبئة</p>	<p>- البيع المباشر للمنتجات الجاهزة (خضروات وفواكه)</p> <p>- طلبيات بالجملة لدور الأعراس و المناسبات ، و الشركات..</p> <p>- المبيعات بالتجزئة الموجهة للمحلات المواد الغذائية و سوبرماركت</p>

العملاء:

- لمن نخلق القيمة؟ كم عددهم؟ من هم أهم عملائنا؟
- حدد شريحة واحدة أو أكثر أو مجموعات من الأفراد الذين لديهم احتياجات أو سلوكيات أو سمات أخرى مشتركة.
- نستهدف شرائح متنوعة تتشابه في حاجتها لحلول غذائية عملية، سريعة، وأمنة:
- ✓ دور الأعراس وتنظيم المناسبات: تحتاج إلى كميات كبيرة من المنتجات الطازجة خلال فترة زمنية قصيرة لتقديمها في الحفلات و الأعراس.
- ✓ الفنادق والمطاعم: تبحث عن مورد يزودها بمكونات جاهزة او منتجات جاهزة للاستخدام مما يقلل الوقت والتكلفة التشغيلية.
- ✓ المؤسسات الصناعية والخدمية: تقدم وجبات لموظفيها وتحتاج الى (خضروات وفواكه مجففة وجاهزة للاستهلاك) وتوفير الوقت والتكلفة.
- ✓ محلات الجملة والتجزئة: تبيع للزبون النهائي، وتحتاج إلى منتج مغلف بشكل جيد وجاهز للعرض مباشرة.
- العدد التقريبي: مئات العملاء المحتملين في كل فئة عبر ولاية غرداية مبدأيا ليتوسع مستقبلا عبر ولايات أخرى ، مثل : ورقلة، الاغواط... الخ

2. عرض القيمة:

- ما القيمة (القيم) التي نقدمها للعميل؟ ما هي الحاجة (الاحتياجات) التي نستجيب لها ؟
- ما هي المشكلة (المشكلات) التي نساهم في حلها ؟
- تحديد مجموعات المنتجات/الخدمات المقدمة لكل شريحة.
- نقدم للعميل حلاً متكاملًا يجمع بين الجودة، الراحة، والسلامة:
- منتج طازج وصحي: يوميًا، عبر مراحل مراقبة صارمة.
- جاهز للاستخدام: مغسول، مقطع، مجفف، ومعبأ بطريقة صحية.
- يوفر الوقت والجهد: خصوصًا للمطاعم والمؤسسات ذات الحجم الكبير و الأعراس.
- إمكانية التخصيص: حسب الشكل، الحجم، نوع الخضروالفواكه، التغليف (وهو ميزة تنافسية نادرة).
- خدمة توصيل موثوقة: تُضمن سلامة المنتج ووصوله في الوقت المناسب.
- مستقبلا ، سيتم التوسع لمجموعة منتجات طبيعية أخرى مثل الاعشاب ... الخ.
- المنتجات المقدمة: خضروات وفواكه مقطعة ومجففة جاهز للاستهلاك + خدمة التوصيل المنتج.

3. قنوات التوزيع:

- ما هي القنوات التي يفضلها عملاؤنا؟ ما هي الأكثر فعالية مردودية؟ كيف يمكننا دمجها في عادات العملاء؟
- تحديد كيفية تواصل المؤسسة واتصالها بعملائها للتوزيع.
- قنوات التوزيع، تتمثل في:
- المبيعات المباشرة (حسب الطلب) ، وهي الأفضل بالنسبة للعملاء و الأكثر مردودية لانها تكون عبر طلب كميات كبيرة للمنتج.
- عبر تجار التجزئة أو الجملة: هذه في حالة التعرف على المنتج لأول في السوق ، و كذا بالنسبة لولايات التي لا تشمل فيها خدمة توصيل طلب منتجاتنا.

- يتم التواصل مع العملاء ، عبر ما يلي:
- التوصيل المباشر: باستخدام مركبات المشروع أو شركات توصيل محلية موثوقة.
- الطلبات الهاتفية أو عبر واتساب: فعالة خصوصاً في المراحل الأولى.
- شركات مع نقاط بيع: تُمكن من تغطية مناطق جديدة عبر محلات التجزئة.
- تطوير منصة رقمية مستقبلاً: تطلب بسهولة وتتبع الطلبات، و اعتماد أنظمة و برامج إدارة الطلبات.

< القنوات المباشرة B2B أكثر فعالية من حيث التكلفة والسرعة حاليًا.

4. العلاقة مع العملاء:

- ما نوع العلاقات التي يريدها كل قطاع من شرائحنا؟ ما هي تكلفتها؟
- كيف ترتبط هذه العلاقات بالكتل الأخرى من النموذج؟
- تحديد نوع (أنواع) العلاقة التي يتعين إقامتها مع عملائه.
- تُركز على بناء علاقات طويلة الأمد ومبنية على الثقة، عبر:
 - دعم مخصص: لكل فئة من الزبائن حسب طبيعتها (مناسبات، مطاعم...).
 - مرونة في التعامل: تخصيص في التوقيت، التغليف، وحتى الفواتير.
 - عروض دورية: لتشجيع الولاء، كالتخفيضات أو الباقات الخاصة.
 - متابعة ما بعد البيع: لضمان رضا الزبون الدائم.
- عند اتباع هذه الخطوات في علاقتنا مع الزبائن، ستزداد شريحة الفئة المستهدفة و تتوسع مستقبلاً، و تزداد قيمة المؤسسة عبر تعزيز سمعتها التجارية الطيبة، و تتكثف قنوات التوزيع لتكون مشغولة بشكل يومي، و بالتالي تزداد مداخيل المشروع و تقل تكاليفه.
- > بناء قاعدة بيانات للعملاء يسمح بتحسين الخدمة مستقبلاً عبر التحليل عن طريق استغلال أنظمة و البرامج التسويقية.

5. المداخل:

- ما هي أسعارك وتوقعات المبيعات؟ كيف يدفع عملاؤك؟
- الاشتراكات، الإيجار، الرسوم، البيع، التعميل الجزافي، الترخيص، إلخ. ما هي حصة كل مصدر من مصادر الدخل بالنسبة إلى الدخل الإجمالي؟
- تقييم الأموال النقدية التي تولدها المؤسسة من كل شريحة.
- يعتمد المشروع على نماذج دخل متنوعة تضمن الاستدامة:
 - بيع مباشر بالوحدة أو الكيلوغرام.
 - عقود اشتراك شهري أو أسبوعي مع عملاء دائمين.
 - عروض خاصة للشركات والمناسبات حسب الحجم.
- طريقة الدفع: - عبر تسديد نقدا بالنسبة للمستهلك الفردي حسب حالة التوزيع (دفع عند استلام الطليبة/ دفع في محل بيع المواد الغذائية)
- عبر تسديد الأجل او عبر الحساب بالنسبة للشركات و الفنادق.. إلخ
- التسعير يكون حسب نوع وتكلفة المنتج
- < الدخل حاليًا يعتمد 100% على بيع المنتجات، مع قابلية لإضافة مصادر لاحقًا ليشمل بيع المنتجات عبر تطبيق إلكتروني.

6.الموارد الرئيسية:

- ما هي الموارد الأساسية اللازمة لتحقيق عرض القيمة؟
(الموارد البشرية والمادية والفكرية)
- تحديد أهم الأصول المطلوبة لعمل المشروع.
- الموارد البشرية: (عمال الإنتاج و التخزين و التوزيع و الإدارة)
- الموارد المادية: (المقر ، المخزون، معدات من مختلف الآت المشروع من الات التقشير و الغسل و التقطيع والتجفيف و التعبئة و التغليف..، لوازم النظافة و السلامة الغذائية، مواد الأولية من خضروات وفواكه و أكياس التعبئة و الملصقات ، أنظمة و معدات تهيئة المشروع من أنظمة التبريد و الفلتره..)
- رأس المال المشروع
- العلامة التجارية و السمعة
- ✓ كل هذه الموارد و الأصول ضرورية للمشروع.

7.الأنشطة الرئيسية:

- ما الذي عليك فعله لإنتاج منتجك أو تقديم خدمتك؟
- وصف أهم الاجراءات التي يجب اتخاذها لنجاح المشروع.
- ضمان امداد و شراء المواد الأولية من خضروات وفواكه و أكياس التعبئة
- مباشرة الإنتاج عبر عمليات التقشير و التنظيف و تقطيع والتجفيف التعبئة و التغليف كل من الخضروات والفواكه
- تخزين المنتجات ثم التوزيع حسب الحالة (عبر الطلب أو عبر نقاط البيع)
- الصيانة و المراقبة المستمرة
- التسويق و البيع

8.الشركاء الرئيسيون:

- من هم الشركاء الذين تحتاجهم أكثر؟
- وصف شبكة الشركاء والموردين الخاصة بك لإنجاح المشروع.
- موردو المواد الأولية:
- موردو الخضر والفواكه المحليين
- موردو أدوات التعبئة و التغليف
- موردو الآت و الأجهزة
- شركات التوصيل السريع
- تقنيون في الصيانة
- مؤسسات الدعم و المراقبة ،مثل: (البنوك، الجهات الحكومية لدعم المشاريع الزراعية، مراكز البحوث الزراعية والغذائية
- ✓ الشركاء الضروريين للمشروع هم موردو المواد الأولية لضمان امداد مواد التي يحتاجها المشروع، وشركات التوصيل لضمان توزيع منتجاتنا عبر الطلب.

9.التكاليف:

- ما هي أهم التكاليف؟ تلك المتعلقة بالأنشطة الرئيسة والموارد الرئيسية؟
- وصف جميع التكاليف المتعلقة بالمشروع.
- هيكل التكاليف متوازن بين:

- ✓ تكاليف ثابتة (استثمار أولي): - شراء آلات تقشير وتقطيع وتجفيف والتغليف وسحب الهواء والتبريد. - تهيئة مقر مطابق للمعايير الصحية.
- تكاليف الثابتة الأخرى: - فواتير الكهرباء والماء - تكاليف التشغيل (إيجار، التأمين ، اشتراكات الانترنت والاتصالات..) و صيانة المعدات و الاهتلاك - تكاليف معدات و بروتوكولات التنظيف و السلامة
- ✓ تكاليف متغيرة (شهرية): - أجور العمال. - شراء الخضر والمواد الخام. - مواد التغليف (علب، أكياس...).
- تكاليف النقل و التوزيع و التوصيل والوقود



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة غرداية
حاضرة أعمال جامعة غرداية



رقم: 238/ح.أ.ج.غ/2025

شهادة توظيف مشروع مبتكر وفق القرار 008 المعدل والمتمم للقرار 1275

أنا الممضي أسفله، السيد: د/ طالب أحمد نور الدين

مسير حاضرة الأعمال: جامعة غرداية

المقر الاجتماعي / العنوان: المنطقة العظمية، ص ب 455، غرداية، 47000، الجزائر

رقم علامة الحاضرة: 1004 253 146 بتاريخ: 2025 / 04 / 10

طبيعة المشروع: مؤسسة ناشئة

أشهد أن الطالب(ة)/الطالبة التالية أسماؤهم:

الإسم	اللقب	الطور الدراسي	التخصص	الكلية
أروى	حيمود	M2	الهندسة الكيميائية	كلية العلوم والتكنولوجيا
فاطمة الزهراء	الفاطمي	M2	الهندسة الكيميائية	كلية العلوم والتكنولوجيا

تحت إشراف الأستاذ(ة)/الأستاذة التالية أسماؤهم:

الإسم	اللقب	الرتبة	التخصص	الكلية
جمال	داود	أستاذ محاضر ب	تطبيق الطاقات المتجددة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة	كلية العلوم والتكنولوجيا
عبد الوهاب	بن صديق	أستاذ محاضر أ	آلية وكهروميكانيك	كلية العلوم والتكنولوجيا

تم توظيفه على مستوى حاضرة أعمال جامعة غرداية - بمشروع تحت اسم:

développement des solutions innovantes de séchage solaire adaptées aux fruits et légumes en intégrant des méthodes de prétraitement et des séchoirs solaires optimisées

خلال السنة الجامعية 2025/2024.

سلمت هذه الشهادة بطلب من المعني للإدلاء بها في حدود ما يسمح به القانون.

حرر في غرداية بتاريخ: 2025 / 06 / 15





Autorisation d'impression finale d'un mémoire de master

	Nom et prénom	Signature
Examineur 1	LAGHOUTER Oum Kelthoum	
Encadrant	DAOUD Djamel	
Co-encadrant	BENSEDDIK Abdelouahab	

Soussigne Dr. AOUF Mohammed

Président de jury des étudiant (s):

Filière : Génie des procédés ; Spécialité : Génie chimique

Thème: Développement de solutions innovantes de séchage solaire adaptées aux fruits et légumes, en intégrant des méthodes de prétraitement et des séchoirs solaires optimisés.

Autorise le (s) étudiant (s) mentionné (s) ci-dessus à imprimer et déposer leur (s) manuscrit final au niveau du département.

Président de jury

AOUF Mohammed

Ghardaïa le: 09/07/2025

Le chef de département

بوعامر خيرة
رئيس قسم هندسة الطرائق

بوعامر خيرة

