

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Hadj Lakhdar - Batna 1
Institut des Sciences Vétérinaires et des
Sciences Agronomiques
Département de Technologie Alimentaire



جامعة الحاج لخضر-باتنة 1
معهد العلوم البيطرية والعلوم الفلاحية
قسم تكنولوجيا التغذية

N°/DTA/ISVSA/UBI/2022

THÈSE

Présentée par

BOUSSELMA Abla

Pour l'obtention du diplôme de

Doctorat 3^{ème} cycle (LMD)

Spécialité : Sciences Alimentaires

Thème

**Étude de procédé de transformation d'abricot
(*Prunus armeniaca* L.) en produit fini par séchage**

Devant le jury :

Présidente : Dr. FERHAT Radhia	Maitre de conférences A.	Université de Batna 1
Rapporteur : Dr. ABDESSEMED Dalila	Maitre de conférences A.	Université de Batna 1
Examineur : Dr. NOUI Yassine	Maitre de conférences A.	Université de Batna 1
Examineur : Pr. MADANI Hakim	Professeur	Université de Batna 2
Examineur : Dr. BOUASLA Abdallah	Maitre de conférences A.	Université de Constantine

Année Universitaire : 2021-2022

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Hadj Lakhdar - Batna 1
Institut des Sciences Vétérinaires et des
Sciences Agronomiques
Département de Technologie Alimentaire



جامعة الحاج لخضر-باتنة 1
معهد العلوم البيطرية والعلوم الفلاحية
قسم تكنولوجيا التغذية

N°/DTA/ISVSA/UBI/2022

THÈSE

Présentée par

BOUSSELMA Abla

Pour l'obtention du diplôme de

Doctorat 3^{ème} cycle (LMD)

Spécialité : Sciences Alimentaires

Thème

**Étude de procédé de transformation d'abricot
(*Prunus armeniaca* L.) en produit fini par séchage**

Devant le jury :

Présidente : Dr. FERHAT Radhia	Maitre de conférences A.	Université de Batna 1
Rapporteur : Dr. ABDESSEMED Dalila	Maitre de conférences A.	Université de Batna 1
Examineur : Dr. NOUI Yassine	Maitre de conférences A.	Université de Batna 1
Examineur : Pr. MADANI Hakim	Professeur	Université de Batna 2
Examineur : Dr. BOUASLA Abdallah	Maitre de conférences A.	Université de Constantine

Année Universitaire : 2021-2022

Résumé

Cette étude a été menée dans le but d'étudier le procédé de transformation d'abricot (*Prunus armeniaca* L.) traités par solutions de : saccharose, NaCl et bisulfite de sodium en produit fini par séchage au micro-onde à différentes puissances (200, 400 et 800 W) et élaboration de la pâte d'abricots par four électrique à 60°C. Le modèle qu'on a proposé à modéliser avec précision la cinétique de séchage d'abricot entier traité par NaCl ; il représente donc un excellent outil pour estimer le temps et le rapport d'humidité de séchage d'abricot entier par comparaison avec deux modèles d'intelligence artificielle (RNA et SINFA). Les analyses statistiques montrent l'effet de paramètre de séchage sur les propriétés physicochimiques étudiées. Les caractéristiques physicochimiques révèlent des résultats satisfaites dont le séchage par microonde conserve mieux le pH, la couleur et augmentation le taux d'activité antioxydante. Le traitement des abricots entiers par NaCl est plus convenable par rapport aux traitements de saccharose et bisulfite de sodium. Selon le résultat du test de classement des produits élaborés par ordre d'importance et selon le nombre des points de dégustateurs l'abricot salé séché à 400 W était apprécié par les dégustateurs suivi par l'abricot sucré séché à 400 W, puis l'abricot salé séché à 200 W et finalement l'abricot sucré séché à 800 W. Le test hédonique a révélé que les produits élaborés ont des caractères proches en ce qui concerne l'aspect, le goût et la texture en bouche.

Mots clés : NaCl, séchage, microonde, pâte d'abricots, RNA, SINFA, traitement.

ملخص:

أجريت هذه الدراسة لدراسة عملية تحويل المشمش المعالج بالمحاليل الآتية: السكروز، الملح وبسيلفيت الصوديوم الى مادة نهائية عن طريق التجفيف بالميكروويف باستطاعات مختلفة (200 و400 و800 واط) ونتاج عجينة المشمش في الفرن الكهربائي بدرجة حرارة 60 °م. النموذج المقترح دقيق لتجفيف حركية المشمش الكامل وبالتالي فانه يمثل أداة ممتازة لتقدير وقت تجفيف ونسبة رطوبة المشمش المعالج بملح الطعام وذلك بعد مقارنته بنموذجين من نماذج الذكاء الاصطناعي RNA وSINFA. بينت التحاليل الإحصائية أثر معايير التجفيف على الخصائص الفيزيوكيميائية المدروسة. كما تكشف الخصائص الفيزيوكيميائية عن نتائج مرضية لتجفيف مشمش بالميكروويف بالنسبة للون ودرجة الحموضة والزيادة في نشاط مضادات الأكسدة. ويعد المشمش الكامل المعالج بملح الطعام أكثر ملائمة مقارنة بالمعالج بالسكروز وبسيلفيت الصوديوم. تتمثل نتيجة اختبار تصنيف المواد المنتجة حسب أهميتها وتقييم المتذوقين كالاتي: مشمش معالج بملح الطعام مجفف في جهاز ميكروويف باستطاعة 400 واط يليه مشمش حلو باستطاعة 400 واط، مشمش معالج بملح الطعام باستطاعة 200 واط وأخيرا المشمش الحلو والمجفف باستطاعة 800 واط. وقد كشف اختبار التذوق أن المواد المفضلة لها خواص متقاربة ومتشابهة من حيث المنظر والمذاق والتركيبية في الفم.

الكلمات المفتاحية: NaCl، تجفيف، ميكروويف، عجينة المشمش، RNA، SINFA، معالجة.

Abstract

This study was conducted to study the transformation processes of apricot (*Prunus armeniaca* L.) treated with solutions of: sucrose, NaCl and sodium bisulphite in finished product by microwave drying at different powers (200, 400 and 800 W) and elaboration of apricots paste by electric oven at 60°C. The proposed model accurately modeled the drying kinetics of whole apricots treated with NaCl; therefore, it represents an excellent tool for estimating the drying time and moisture ratio of whole apricots in comparison with two artificial intelligence models (RNA and SINFA). Statistical analysis shows the effect of drying parameter on morphological and physicochemical properties studied. The physicochemical characteristics reveal satisfactory results of which microwave drying preserves better the pH, the color and increases the antioxidant activity rate. The treatment of whole apricots with NaCl is more suitable compared to sucrose and sodium bisulphite treatments. According to the result of the test, the tasters ranked the products in order of importance and the number of tasters' points, the dried salted apricot at 400 W was appreciated by the tasters, followed by the dried sweet apricot at 400 W, then the dried salted apricot at 200 W and finally the dried sweet apricot at 800 W. The hedonic test revealed that the elaborated products have similar characters with respect to sight, taste and mouth texture.

Keywords: NaCl, drying, microwave, apricot paste, RNA and SINFA, treatments.

Remerciements

Il y a tellement de monde que je voudrais remercier que je vais certainement en oublier quelques-uns dans ma maladresse. J'espère quand même ne pas avoir oublié ceux qui ont joué les rôles principaux pendant le déroulement de ma thèse de doctorat.

D'abord et surtout un grand merci à **Dieu**, qui nous a donné la prospérité, la force et le courage pour réaliser ce travail.

Je tiens à remercier vivement ma promotrice **M^{me} ABDESSEMED Dalila**, Maître de conférences A. à l'Université de Batna 1, non seulement d'avoir accepté l'encadrement de ce travail, mais surtout pour ses orientations judicieuses, sa disponibilité et ces encouragements tout au long de la réalisation du présent travail.

Je remercie également **M^{me} BOUDRAA Soussen (Que Allah lui fasse miséricorde et lui accorde le plus haut paradis)**, Maître de conférences B., à l'Université de Batna 1, qui nous a donné beaucoup des idées de travailler sur ce projet et m'a suivi tout au long de ce travail et dispensée ses conseils avisés, Merci beaucoup.

Je suis profondément reconnaissant au **Docteur TAHRAOUI Hichem** de l'Université de Médéa d'avoir suivi et guidé mon travail avec gentillesse. Je tiens à lui exprimer ma gratitude pour son aide et ses qualités scientifiques et humaines. Son accompagnement et son suivi durant les trois années de préparation de cette thèse, ainsi que les nombreuses discussions qui m'ont permis d'avancer et de compléter cette thèse. Je dis merci de me donner l'opportunité de travailler sous votre qualité scientifique. Merci beaucoup.

Mes vifs remerciements vont également à **M^{me} FERHAT Radhia**, Maître de conférences A., à l'Université de Batna 1, pour l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant de présider le jury de la soutenance de cette thèse et pour son aide et les marques d'estimes et de sympathie témoignées à mon égard.

J'adresse mes vifs remerciements vont également à **Mr. MADANI Hakim**, Professeur à Université de Batna 2 et **Mr. NOUI Yassine**, Maître de conférences A., à l'Université de Batna 1 et **Mr. BOUASLA Abdellhah**, Maître de conférences A., à l'Université de Constantine, pour accepter d'évaluer ce travail, merci beaucoup.

Mes vifs remerciements vont également au **Professeur ABDLATIF Amrane** de l'Université de Rennes, France d'avoir suivi et guidé mon article avec gentillesse.

Je tiens à exprimer ma gratitude et mes sincères remerciements à **Mr LAAMARI Malik**, Professeur à l'université de Batna1, pour m'avoir donné accès au laboratoire de recherche LATPEM, pour leur disponibilité, leur qualité humaine et leur réel soutien. Merci beaucoup.

M^{me} LOMBARKIA Nadia, Professeur à l'Université de Batna 1, pour nous avoir accueilli au sein de votre laboratoire de faire des analyses, merci beaucoup.

Mr ABDESSELAM Salah, Professeur à l'Université de Batna 1 et Directeur de laboratoire de LAPAPEZA, pour son aide et encouragements, merci beaucoup.

Je suis agréable également de remercier : **Mr ZERFA Abdenour, Mr OUAKOUAK Abdelkader, Mr BERDJA Rafik, Mr SI BACHIR AbdelKrim, Mr HATEM Majdoub, Mr MERGOUBE Yazid , Mr BENKAOUHA Abdelmalek , Mr SI BACHIR Abdelhamid, Mr LEKBIR Adel, Mr FAHLOUL Djamel, Mr AOUF Hakim, Mr RAHOUMA Abdelhak, Mr LAMRAOUI Hamoudi, M^{me} TÉMAGOULT Asma, M^{me} HELEILI Nouzha, M^{me} CHEKROUNE Malika, M^{me} ZITOUNI Bariza , M^{me} ABDELI Katia.**

Sans oublier mes vifs remerciements s'adresse à **Mr ZEDAM Fouad**, de m'avoir aidé moralement et encouragé à rédiger cette thèse en peu de temps, merci beaucoup.

Sans oublier les responsables (es) des laboratoires et surtout **Hadjer Yamina, Amel, Ferouz, Farida, Leila, Naima, Zahra, Sara, Salima et Amine ...**

Je me fais le devoir de témoigner ma gratitude à toutes celles et ceux qui m'ont aidé en m'adressant la documentation recherchée et en répondant à mes nombreuses questions qui n'avaient d'autre motivation le plus souvent, que la recherche de la vérité. Ils sont très nombreux et il ne m'est pas possible de les citer tous.

Productions scientifiques

Publications et communications scientifiques réalisées dans le cadre du Doctorat

1. Publications internationales

BOUSSELMA, A., ABDESSEMED, D., TAHRAOUI, H., & AMRANE, A. (2021). Artificial Intelligence and Mathematical Modelling of the Drying Kinetics of Pre-treated Whole Apricots. *Kemija u industriji*, 70(11-12), 651-667.

Abla, B., & Dalila, A. (2021, October). The drying kinetics of apricots undergo steam blanching in a microwave oven. In *2020 6th International Symposium on New and Renewable Energy (SIENR)* (pp. 1-5). IEEE.

2. Communications internationales

* **Abla BOUSSELMA**, 2019. Élaboration des nouveaux produits a base d'abricot (*Prunus armeniaca*) et de pomme (*Malus domestica*) variété *Royal gala* (As a part of the Algerian American Foundation Summer University 2019, University Batna 2).

* **BOUSSELMA Abla**, ABDESSEMED Dalila, 2020. Cinétique de séchage des abricots par microondes. Third International Symposium Medicinal Plants and Matériels (MPM- 2020, University of Larbi Tebessi- Tebessa, Algérie, oral communication).

* **BOUSSELMA Abla**, ABDESSEMED Dalila, 2021. Microwave drying effect on polyphenols and the color of dried apricots. International Seminar on Biodiversity, Valorization and Conservation of Urban and Forest Ecosystems: (In support of sustainable development), University M'sila.

* **BOUSSELMAA A.**, ABDESSEMED D. The drying kinetics of apricots undergo steam blanching in a microwave oven. *6th International Seminar on New and Renewable Energy (SIENR)*, University of Ghardaia, Algeria (oral communication).

3. Communications nationales

* **BOUSSELMA Abla**, ABDESSEMED Dalila, 2019. Élaboration des abricots séchés par microonde. Premier Séminaire National sur la Microbiologie et les Sciences Alimentaires, Université Mouhamed Seddik Ben Yahia, Jijel (communication orale).

* **BOUSSELMA Abla**, ABDESSEMED Dalila, 2019. Transformation d'abricot en produits finis (Innovation). La 1^{ère} journée Nationale de Génie de l'Environnement et Développement Durable (GEDD2019), Université Saad Dahleb Blida 1.

* **BOUSSELMA Abla**, ABDESSEMED Dalila, 2020. L'effet de séchage sur la transformation d'abricot. La 1^{ère} journée scientifique sur la Biologie des Plantes Médicinales, Université Larbi Tebessi- Tebessa.

Sommaire

Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale	1

Etude bibliographique

Chapitre 1 : Généralités sur l'abricot

1.1. Historique et origine	6
1.2. Taxonomie	6
1.3. Conditions de la culture	6
1.4. Définition de l'abricot	7
1.5. Composition biochimique du fruit	7
1.6. Principales variétés d'abricot	9
1.6.1. Dans le monde	9
1.7. Production de l'abricot	9
1.7.1. Dans le monde	9
1.7.2. En Algérie	11
1.8. Transformation d'abricot	11

Chapitre 2 : Généralités sur les prétraitements, le séchage et la modélisation

2.1. Prétraitements	13
2.1.1. Prétraitements physiques	13
2.1.1.1. Traitements thermiques	13
2.1.1.2. Pré-traitements non thermiques	15
2.1.1.3. Pré-traitements chimiques	16
2.2. Séchage	18
2.2.1. Définition	18
2.2.2. Objectif de séchage	18
2.2.3. Avantages et inconvénients du séchage	19
2.2.3.1. Avantages du séchage	19
2.2.3.2. Inconvénients du séchage	20
2.2.4. Notion de l'activité de l'eau	20
2.2.5. Transferts	21
2.2.5.1. Transferts internes	21
2.2.5.2. Transfert de matière	21

2.2.5.3. Transfert de chaleur.....	21
2.2.5.4. Transferts externes.....	22
2.2.6. Cinétique de séchage.....	22
2.2.7. Technologies de séchage.....	23
2.2.7.1. Séchage thermique.....	23
2.2.7.2. Séchage non thermique.....	29
2.3. Modélisation et intelligence artificiel (IA).....	30
2.3.1. Modèles empiriques.....	30
2.3.1.1. Modèle d'Aghbashlo et autres.....	31
2.3.1.2. Modèle de Wang et Singh.....	32
2.3.1.3. Modèle de Diamante et autres.....	32
2.3.1.4. Modèle de Weibull.....	32
2.3.1.5. Modèle Thompson.....	33
2.3.1.6. Modèle de Silva et autres ou (Da Silva et autres).....	33
2.3.1.7. Modèle Peleg.....	33
2.3.1.8. Modèle de Lewis.....	33
2.3.1.9. Modèle de Page.....	34
2.3.1.10. Modèle de Henderson et Pabis.....	34
2.3.1.11. Modèle logarithmique.....	34
2.3.1.12. Modèle de Midilli.....	34
2.3.1.13. Modèle de Demir et al.....	34
2.3.1.14. Modèle à deux paramètres.....	35
2.3.1.15. Modèle exponentiel à deux paramètres.....	35
2.3.1.16. Modèle modifié de Henderson et Pabis.....	35
2.3.2. Méthodes de modélisation.....	35
2.3.2.1. Régression linéaire multiple (RLM).....	36
2.3.2.2. Support Vecteur Machine (SVM).....	36
2.3.2.3. Méthodologie de la surface de réponse (MSR).....	37
2.3.2.4. Réseau de neurones artificiels (RNA).....	37
2.3.2.5. Système d'Inférence Neuro-Flou Adaptatif (SINFA).....	38

Etude expérimentale

Chapitre 1 : Caractérisation morphologique et physico-chimiques d'abricot

Résumé.....	42
1.1. Introduction.....	42
1.2. Matériel et méthodes.....	43

1.2.1. Matériel végétal.....	43
1.2.1.1. Description et choix de variété d'abricot.....	43
1.2.1.2. Prélèvement des échantillons.....	44
1.3. Méthode d'analyse.....	44
1.3.1. Caractérisation morphologique d'abricot.....	44
1.3.1.1. Dimensions des abricots.....	44
1.3.1.2. Poids des abricots (P_a).....	44
1.3.2. Composition biochimique de l'abricot.....	44
1.3.3.1. Détermination de la teneur en eau et matière sèche.....	44
1.3.3.2. pH (AFNOR NF V 50-107).....	45
1.3.3.3. Détermination d'acidité titrable AT (AFNOR NF V 05- 108).....	45
1.3.2 .4. Détermination du taux des solides solubles (TSS %) (AFNOR NF V 05-109).....	46
1.3.2.5. Détermination de teneur en sucres totaux (Méthode du Dubois).....	46
1.3.2.6. Détermination de teneur en sucres réducteurs.....	47
1.3.2.7. Détermination de teneur en saccharose.....	47
1.4. Résultats et discussion.....	47
1.4.1. Caractérisation morphologique de l'abricot.....	47
1.4.1.1. Dimensions d'abricot.....	48
1.4.1.2. Poids d'abricots (P_p).....	48
1.4.2. Caractérisation physico-chimique de l'abricot.....	48

Chapitre 2 : Étude de procédé de séchage d'abricot par microonde

Résumé.....	52
2.1. Introduction.....	52
2.2. Matériel et méthodes.....	60
2.2.1. Méthode de préparation de l'abricot.....	60
2.2.1.1. Prétraitement de l'abricot.....	60
2.2.2. Séchage des abricots.....	60
2.2.2.1. Séchage par microonde.....	60
2.2.2.2. Courbes représentants la cinétique de séchage.....	62
2.2. 3. Diffusivité effective de l'humidité (D_{eff}).....	62
2.2.4. Énergie d'activation.....	62
2.3. Résultats et discussion.....	63
2.3.1. Séchage de l'abricot.....	63
2.3.1.1. Etude de la cinétique de séchage.....	63

2.3.1.2. Influence de la puissance de microonde sur la cinétique du séchage des abricots entiers traités.....	63
2.3.2. Diffusivité effective de l'humidité (D_{eff}).....	65
2.3.3. Énergie d'activation.....	66
2.4. Conclusion.....	67

Chapitre 3 : Modélisation et intelligence artificielle de la cinétique de séchage d'abricot entier prétraité

Résumé.....	69
3.1. Introduction.....	72
3.2. Matériel et méthodes.....	73
3.2.1. Méthodes de prédiction du temps par RNA et SINFA.....	73
3.2.1.1. Modélisation par RNA.....	74
3.2.1.2. Modélisation par SINFA.....	75
3.2.2. Modélisation mathématique du séchage des abricots entiers.....	76
3.2.3. Méthodes de prédiction du rapport d'humidité (MR) par RNA et SINFA.....	78
3.3. Résultats et discussion.....	78
3.3.1. Méthodes de prédiction du temps par RNA et SINFA.....	78
3.3.1.1. Modélisation par RNA.....	78
3.3.1.2. Modélisation par ANFIS.....	80
3.3.2. Comparaison entre le temps de séchage de RNA et SINFA.....	82
3.3.3. Modélisation de la cinétique de séchage des abricots.....	82
3.3.4. Test du temps prédictif.....	86
3.3.5. Méthodes de prédiction de MR par RNA et SINFA.....	87
3.3.5.1. Modélisation par ANN.....	87
3.3.5.2. Modélisation par ANFIS.....	89
3.3.6. Comparaison entre le MR du modèle proposé et le MR de deux modèles d'intelligence artificielle RNA et SINFA	90
3.4. Conclusion.....	92

Chapitre 4 : Effet de séchage par microonde sur les paramètres physico-chimiques des produits élaborés

Résumé.....	94
4.1. Introduction	94
4.2. Matériel et méthodes.....	95
4.2.1. Méthode de préparation des abricots séchés et de pâte d'abricot.....	95

4.2.1.1. Préparation des abricots entiers.....	95
4.2.1.2. Préparation de pâte d'abricot.....	96
4.2.2. Effet de séchage sur les paramètres physico-chimiques des produits élaborés.....	98
4.2.2.1. pH (NF V 05-108, 1970)	98
4.2.2.2. Acidité titrable (NF V 05-101, 1974)	98
4.2.2.3. Taux des solides solubles (TSS %) (AFNOR : V05-109, 1970).....	99
4.2.2.4. Sucres totaux (Méthode du Dubois)	99
4.2.2.5. Sucres réducteurs	100
4.2.2.6. Saccharose.....	100
4.2.3. Etude statistique.....	100
4. 3. Résultats et discussion.....	100
4.3.1. Elaboration des abricots séchés et pâte d'abricot	100
4.3.2. Effet de séchage sur les paramètres physico-chimiques des produits élaborés.....	102
4.4. Conclusion.....	104

Chapitre 5 : Effet de séchage sur l'activité antioxydante et la couleur des produits élaborés

Résumé.....	106
5.1. Introduction	106
5.2. Matériel et méthodes.....	108
5.2.1. Préparation d'extraits d'abricots.....	108
5.2.1.1. Extraction à froid.....	108
5.2.1.2. Extraction assistée par ultrasons (EAU)	108
5.2.2. Dosage des polyphénols.....	108
5.2.3. Dosage des flavonoïdes.....	109
5.2.4. Évaluation de l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH de l'abricot frais et les produits élaborés.....	109
5.2.5. Analyse de la couleur de l'abricot frais et les produits séchés élaborés.....	110
5.2.5.1. Différence de la couleur totale (ΔE)	111
5.2.6. Analyse statistique.....	111
5.3. Résultats et discussion.....	111
5.3.1. Teneur en polyphénols et flavonoïdes	111
5.3.2. Évaluation de l'activité antioxydante par effet du radical DPPH de la matière fraîche et les produits élaborés	114
5.3.4. Mesure de la couleur de l'abricot frais et les produits séchés élaborés.....	116

5.3.4.1. Espace de couleur L* a* b*.....	116
5.3.4.2. Différence de couleur totale (ΔE) des produits élaborés	117
5.4. Conclusion.....	119

Chapitre 6 : Évaluation sensorielle des produits élaborés

Résumé.....	121
6.1. Introduction.....	124
6.2. Matériel et méthodes.....	124
6.2.1. Analyse sensorielle.....	124
6.2.2. Test de classement.....	124
6.2.3. Test hédonique.....	124
6.2.4. Objectif.....	124
6.2.5. Préparation de la salle d'évaluation.....	125
6.2.6. Présentation des échantillons.....	125
6.2.7. Le groupe d'évaluation.....	125
6.2.8. Analyse statistique.....	125
6.3. Résultats et discussion.....	125
6.3.1. Évaluation sensorielle des produits élaborés.....	125
6.3.1.1. Test d'acceptation (Classement par rang d'acceptation)	125
6.3.1.2. Test hédonique.....	127
6.4. Conclusion.....	130
Conclusion générale.....	132
Références bibliographiques.....	135
Annexes.....	157

Liste des abréviations

- ANFIS** : Système d'Inférence Neuro-Flou Adaptatif
- AT** : Acidité titrable
- BHT** : Butylhydroxytoluène
- BIVS** : Blanchiment par Impaction à la Vapeur Surchauffée
- D_{eff}** : Diffusivité efficace de l'humidité
- DNS** : Acide di-nitro-3,5 salicylique
- DPPH** : 2,2- Diphenyl-1-picrylhydazyle
- DSA** : Directions de Service Agricole
- DT**: Drying Time
- E_a** : Énergie d'activation
- EM** : L'énergie électromagnétique
- EQ** : Equivalent quercétine
- FAO**: Food Agricultural Organisation of the United Nations
- GAE** : Équivalent d'acide gallique
- GHz** : Giga hertz
- HHAIB** : Blanchiment par Impaction à l'Air chaud à Haute Humidité
- HHP** : Haute pression hydrostatique
- MF** : Matière fraîche
- MR** : Moisture ratio (Rapport d'Humidité)
- MS** : Matière sèche
- OH** : Chauffage ohmique
- OMS** : Organisation Mondiale de la Santé
- P** : La pression de vapeur d'eau
- P₀**: pression de vapeur d'eau pure
- PAI** : produits alimentaires intermédiaires
- PEF** : Le champ électrique pulsé
- RMSE** : Erreur quadratique moyenne
- RNA** : Réseau Neuronal Artificiel
- s** : Seconde
- TSS** : Le taux de solides solubles
- EAU** : Extraction Assistée à Ultrasons
- UV** : Ultra-Violet
- VAL** : Validation

W : Watt

ΔE : Différence de couleur totale

χ^2 : Ki-carré réduit.

Liste des figures

Étude bibliographique

Figure 1 : Schéma simplifié d'une coupe longitudinale d'abricot à maturité (Grimplet, 2004)	7
Figure 2 : Déshydratation osmotique des légumes ou des fruits (Deng et al., 2019).....	17
Figure 3 : Courbes d'évolution type au cours du temps de la teneur en eau du produit (A), L'allure de séchage (B) et l'allure de séchage en fonction du taux d'humidité (C) (Charreau et Cavaille, 1995)	23
Figure 4 : Présentation d'un micro- onde (Fito et al., 2005).....	25

Étude expérimentale

Chapitre 1 : Caractérisation morphologique et physico-chimiques d'abricot

Figure 1 : <i>Prunus armeniaca</i> L.....	46
--------------------------------------------------	----

Chapitre 2 : Étude de procédé de séchage d'abricot par microonde

Figure 1 : Microonde type LJ.....	61
Figure 2 : Séchage par micro-onde des échantillons de <i>prunus armeniaca</i> L	61
Figure 3 : Evolution de le MR des abricots traités par solution de : a) Saccharose, b) NaCl et c) Bisulfite de sodium en fonction de temps par microonde à différentes puissances (200, 400 et 800 W)	64

Chapitre 3 : Modélisation et intelligence artificielle de la cinétique de séchage d'abricot entier prétraité

Figure 1 : Présentation des réseaux neuronaux multicouches (Bousselma et al, 2021)	74
Figure 2 : Structure du SINFA (Bousselma et al, 2021)	75
Figure 3 : Valeurs prédites par rapport aux valeurs expérimentales du temps tansig du modèle RNA de la phase de validation et formation.	79
Figure 4 : Valeurs prédites par rapport aux valeurs expérimentales du temps logsig du modèle RNA de la phase de validation et formation.	79
Figure 5 : Relation entre les données expérimentales du temps de la cinétique de séchage des abricots entiers traités et celles estimées par le modèle RNA.....	80
Figure 6 : Valeurs prédites par rapport aux valeurs expérimentales du temps du modèle SINFA de la phase de validation et formation	81
Figure 7 : Relation entre les données expérimentales du temps de la cinétique de séchage des abricots entiers traités et celles estimées par le modèle SINFA.....	82

Figure 8 : Modélisation de la cinétique de séchage des abricots entiers traités séchés par micro-onde à différentes puissances (200, 400 et 800 W) : (a) Modified Henderson & Pabis Model, (b) Henderson-Pabis Model, (c) Two Term Model and (d) Proposed Model.....	84
Figure 9 : Évolution du rapport d'humidité (MR) exp, pre, et preT par le modèle proposé en fonction du temps aux puissances (200, 400, et 800 W) et aux traitements de : (a : Saccharose, b : NaCl et c : Bisulfite de sodium)	86
Figure 10 : Valeurs prédites par rapport aux valeurs expérimentales du MR tansig du modèle RNA de la phase de validation et formation.	87
Figure 11 : Valeurs prédites par rapport aux valeurs expérimentales du MR logsig du modèle RNA de la phase de validation et formation	88
Figure 12 : Relation entre les données expérimentales du MR de la cinétique de séchage des abricots entiers traités et celles estimées par le modèle RNA	88
Figure 13 : Valeurs prédites par rapport aux valeurs expérimentales du MR du modèle SINFA de la phase de validation et formation	90
Figure 14 : Relation entre les données expérimentales du MR de la cinétique de séchage des abricots entiers traités et celles estimées par le modèle SINFA	90

Chapitre 4 : Effet de séchage par microonde sur les paramètres physicochimiques des produits élaborés

Figure 1 : Étapes de préparation des abricots entiers.....	96
Figure 2 : Étapes de préparation de pâte d'abricot par four électrique.....	97
Figure 4 : Pâte d'abricot	101

Chapitre 5 : Effet de séchage sur l'activité antioxydante et la couleur des produits élaborés

Figure 1 : Espace couleur CIELAB (Pathare et al., 2013).....	110
Figure 2 : Paramètres de la couleur (L*, a* et b*) pour l'abricot frais et les produits élaborés	116
Figure 3 : Changement de couleur (ΔE) des produits élaborés.....	118

Chapitre 6 : Évaluation sensorielle des produits élaborés

Figure 1 : Résultats du test de dégustation des produits élaborés.....	127
Figure 2 : Profil sensoriel des produits élaborés à base d'abricot (<i>Prunus armeniaca</i> L.) ...	129

Liste des tableaux

Étude bibliographique

Tableau 1 : Composition biochimique moyenne d'abricot (Hormaza et al., 2007; Ursell, 2002).....	8
Tableau 2 : Composition moyenne d'abricot séché (Ursell, 2002)	9
Tableau 3 : Principales variétés d'abricot dans le monde (Hormaza et al., 2007).....	
Tableau 4 : Production mondiale d'abricots, en tonnes (FAOSTAT, 2017).	10
Tableau 5 : Données statistiques de la production d'abricot dans la wilaya de Batna 2020 / 2021 (DSA, 2021).....	11

Étude expérimentale

Chapitre 1 : Caractérisation morphologique et physico-chimiques d'abricot

Tableau 1 : Propriétés physiques d'abricot (<i>prunus armeniaca</i> L.)	48
Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques d'abricot variété Rosé de Manaa.....	49

Chapitre 2 : Étude de procédé de séchage d'abricot par microonde

Tableau 1 : Valeurs de diffusivité effective de l'humidité (m^2s^{-1}) pour le séchage de l'abricot entier ($D_{eff} \times 10^{-8}$).....	66
Tableau 2 : Valeurs d'énergie d'activation (Wg^{-1}) pour le séchage de l'abricot entier.....	67

Chapitre 3 : Modélisation et intelligence artificielle de la cinétique de séchage d'abricot entier prétraité

Tableau 1 : Modèles mathématiques appliqués aux courbes de séchage (Abbaspour-Gilandeh et al., 2019; Chandra & Singh, 2017; Djebli et al., 2020; Güler et al., 2020; Izli & Polat, 2019; Kaveh et al., 2020; Keskes et al., 2020; Oyebola Odunayo & Adedotun Timothy, 2020; Roman et al., 2020; Süfer et al., 2017; Szadzińska et al., 2019; Wang et al., 2007).....	77
Tableau 2 : Performances des différentes architectures du RNA testées du temps.....	78
Tableau 3 : Performance des différentes architectures du SINFA testées du temps.....	81
Tableau 4 : Comparaison entre le temps du séchage (DT) de RNA et SINFA.....	82
Tableau 5 : Modélisation de la cinétique de séchage des abricots traités au saccharose séchés par microonde	84
Tableau 6 : Modélisation de la cinétique de séchage des abricots traités au NaCl séchés par microonde.....	85

Tableau 7 : Modélisation de la cinétique de séchage des abricots traités au bisulfite de sodium par séchés microonde.....	85
Tableau 8 : Performances des différentes architectures du RNA testée du MR.....	87
Tableau 9 : Performances des différentes architectures du SINFA testée du MR.....	89
Tableau 10 : Comparaison entre la MR de modèle proposé et la MR de deux modèles d'intelligence artificielle RNA et ANFIS à trois traitements mixtes (saccharose, NaCl, et bisulfite de sodium).	91
Tableau 11 : Comparaison entre le MR du modèle proposé et le MR de deux modèles d'intelligence artificielle RNA et SINFA à trois traitements non mélangés à 200, 400 et 800 W.....	92

Chapitre 4 : Effet de séchage par microonde sur les paramètres physico-chimiques des produits élaborés

Tableau 1 : Type des produits élaborés à base d'abricot (<i>Prunus armeniaca</i> L.) par microonde.....	101
Tableau 2 : Effet de séchage sur les valeurs du pH et AT des produits séchés élaborés.....	102
Tableau 3 : Effet de séchage sur les valeurs des sucres totaux, sucres réducteurs et saccharose des produits séchés élaborés.....	103

Chapitre 5 : Effet de séchage sur l'activité antioxydante et la couleur des produits élaborés

Tableau 1 : Effet de séchage sur les valeurs des polyphénols et flavonoïdes des produits séchés élaborés extraient par méthode de macération à froid et EAU.....	112
Tableau 2 : Effet de séchage sur les valeurs de l'activité antiradicalaire des produits séchés élaborés extraient par méthode de macération à froid et EAU (%)	115

Chapitre 6 : Évaluation sensorielle des produits élaborés

Tableau 1 : Noms des codes des produits séchés élaborés à base d'abricot (<i>Prunus armeniaca</i> L.)	124
Tableau 2 : Résultats du test hédonique des produits élaborés à base d'abricot.....	128

INTRODUCTION

Des études épidémiologiques suggèrent que la consommation de fruits et légumes pourrait jouer un rôle important dans la protection de nombreuses maladies chroniques, dont les maladies cardiovasculaires, le diabète de type II, la démence, la dégénérescence maculaire et certains cancers. Ces observations ont conduit l'OMS à recommander de consommer 400 g de fruits et légumes par jour et à inciter de nombreuses campagnes individuelles par les organismes gouvernementaux dans le monde. Par exemple, le Guide alimentaire pour les Américains recommande que vous fabriquiez la moitié de votre assiette de fruits et légumes, ce qui équivaut à sept à dix portions par jour, selon l'âge et le sexe d'une personne. En plus des bienfaits bien établis des vitamines et minéraux essentiels que l'on trouve en grandes quantités dans une vaste gamme de fruits et légumes, ils fournissent également une bonne source de fibres pour l'alimentation et une variété de nutriments non essentiels. Ces substances sont connues sous le nom de phytochimiques et ont des effets bénéfiques considérables sur la santé, notamment les antioxydants, les anti-inflammatoires, le lipidablissement et les effets bénéfiques sur la pression artérielle et la fonction endothéliale (**Barrett & Lloyd, 2012**).

L'abricot (*Prunus armeniaca* L.) est une espèce appartenant à la famille rosacée qui comprend également des pommes, des cerises, des pêches, des poires et des prunes et est le fruit le plus consommé au monde et en Algérie. En Algérie, les superficies de l'abricotier sont importantes, La wilaya de Batna est parmi les régions qui occupent une superficie très importante dans la plantation d'abricot (4 375,07 ha) avec une moyenne de rendement 44,31 Qx /ha en 2020 (**DSA, 2021**).

La plupart des fruits et légumes contiennent plus de 80 % d'eau, et au sein d'une même espèce de fruit, la teneur en eau varie fortement en fonction des facteurs environnementaux. L'un des problèmes les plus sérieux auxquels sont confrontés les producteurs de fruits et légumes est comment éviter que ces produits ne s'abîment et deviennent ainsi impropres à la consommation. De nombreux types de fruits doivent être transformés pour maintenir leurs qualités, car ils sont saisonniers et leur durée de conservation est limitée. Pour prolonger la durée de conservation de l'abricot, différentes méthodes de conservation ont été utilisées, telles que la mise en conserve, la congélation, le séchage et l'emballage sous atmosphère contrôlée.

Le séchage est une méthode de conservation des produits agricoles caractérisée par une longue durée de conservation en raison de leur taux de respiration élevé et de leur sensibilité à la perte d'eau comme dans le cas des abricots (**Xanthopoulos et al., 2019**).

Plusieurs méthodes basées sur le séchage à l'air, le séchage sous vide, le séchage solaire et le séchage par micro-ondes ont été utilisées à ce jour pour le séchage des fruits et légumes.

Le séchage au four à microonde est une technique très rapide, à une faible consommation en énergie et un rendement plus élevé des éléments nutritifs par rapport aux d'autres techniques de séchage.

Plusieurs chercheurs ont montré la possibilité de séchage des fruits et légumes par microonde tels que : bananes (Maskan, 2000), kiwis (Maskan, 2001), oranges (Diaz et al., 2003), citrouille (Alibas, 2006), ails (Sharma & Prasad, 2006), épinards (Ozkan et al., 2007), pomme de terre (Darvishi, 2012), grenade (Horuz & Maskan, 2015), les tranches et les moitiés des abricots (Albanese et al., 2013; Horuz et al., 2017; Igual et al., 2012; Karatas & Kamışlı, 2007), champignons (Dutta et al., 2012), betteraves rouge (Dirim et al., 2019) et pommes (Dai et al., 2019). Avant le séchage par microonde, les abricots sont généralement soumis à différents prétraitements tels que la déshydratation osmotique dans une solution de saccharose, solution de NaCl, et l'immersion dans une solution de bisulfite de sodium. Ces méthodes de traitement sont couramment utilisées pour réduire le taux de brunissement enzymatique et changement de couleur des fruits pendant le séchage et le stockage. Toutefois, à notre connaissance, il n'existe aucune étude sur l'effet du trempage des abricots entiers dans des solutions de NaCl, de saccharose et de bisulfite de sodium.

Le procédé de séchage pose un problème de contrôle difficile, car, il est non linéaire et complexe. Dans le but de réduire le gaspillage des produits chimiques, le temps et les coûts d'exploitation et atteindre les objectifs, On trouve la modélisation et l'intelligence artificiel (IA) comme meilleures solutions pour sélectionner le modèle de séchage le plus approprié et les conditions du travail optimal pour le traitement du produit (Abano et al., 2021). On a plusieurs types de modèle d'intelligence artificiel tels que : Support Vecteur Machine (SVM), la Régression Linéaire Multiple (RLM), Réseaux de Neurones Artificiels (RNA) et Système d'Inférence Neuro-Flou Adaptatif (SINFA).

La conception et la réalisation de ce travail s'inscrit dans le cadre : d'étudier le procédé de transformation d'abricot (*Prunus armeniaca* L.) en produit fini par séchage, élaboration des abricots séchés traités par solutions de : saccharose, NaCl et bisulfite de sodium séchés par microonde à différentes puissances (200, 400 et 800 W), élaboration de la pâte d'abricot séchée par four électrique à 60°C, proposer un modèle semi-empirique et modéliser ces résultats de la cinétique de séchage par deux modèles d'IA (RNA et SINFA) et réduire les pertes de récoltes et gaspillage alimentaire

Le travail est divisé en deux parties :

La première partie relative à une synthèse bibliographique, dans laquelle nous avons regroupés quelques généralités sur l'abricot et généralités sur les prétraitements, le séchage et

la modélisation et l'intelligence artificiel.

La deuxième partie relative à l'expérimentation, et qui présente le matériel et méthodes, ainsi les résultats acquis dans l'étude et leur discussion de :

- Caractérisation morphologique et physico-chimiques d'abricot ;
- Étude de procédé de séchage d'abricot par microonde ;
- Modélisation et intelligence artificielle de la cinétique de séchage d'abricot entier prétraité ;
- Effet de séchage par microonde sur les paramètres physico-chimiques des produits élaborés ;
- Effet de séchage sur l'activité antioxydante et la couleur des produits élaborés ;
- Évaluation sensorielle des produits élaborés et finalement une conclusion et les perspectives.

ETUDE
BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1
Généralités sur l'abricot

1.1. Historique et origine

L'abricot et la pêche sont les deux fruits à noyau du genre *Prunus* originaires de l'Asie. Ce sont les Chinois qui, les premiers, l'ont domestiqué, il y a au moins 4000 ans. De la Chine, l'abricot a gagné l'Inde puis l'Italie et la Grèce, en suivant la route de la Soie, un siècle avant notre ère. En Afrique du nord et en France, il a été introduit aux environs du XV^{ème} siècle (Baert, 1999). L'abricot a été nommé par les Romains, très probablement à partir de l'accent mixte de deux mots "praecocia" du latin signifiant "précoce", ou "albarquq" de l'arabe, signifiant courte période de maturation (Ahmadi et al., 2008; Güçlü et al., 2006).

1.2. Taxonomie

L'abricot (*Prunus armeniaca* L.) appartient à la famille des Rosaceae. Chez les angiospermes, les Rosacées sont l'une des plus grandes familles avec environ 3 400 espèces, dont les amandes, les pêches, les pommes, les prunes, cerises et baies, distribuées dans les régions tempérées du nord du globe (Tabasum et al., 2018).

D'un point de vue botanique, l'abricotier est classé comme suit :

Embranchement	: Phanérogames
Sous embranchement	: Angiospermes
Classe	: Magnoliopsida
Sous classe	: Rosidae
Famille	: Rosaceae
Genre	: <i>Prunus</i>
Espèce	: <i>Prunus armeniaca</i> L.
Nom commun	: Abricotier.

Prunus armeniaca L., largement connu sous le nom d'abricot, est une plante comestible célèbre pour ses fruits délicieux. Son nom latin synonyme est *Armeniaca vulgaris* L., autrefois censé venir d'Arménie, où il est cultivé depuis longtemps. La plante peut être décrite botaniquement comme un arbre rustique de 2-10 m de hauteur avec des fruits à noyau (Erdogan-Orhan & Kartal, 2011).

1.3. Conditions de la culture

L'abricotier est une espèce assez diploïde, requiert un climat méditerranéen chaud, a besoin d'hiver froid et humide pour arrêter sa dormance et d'été chaud et sec. Il fleurit juste après l'amandier et avant le pêcher. Il est assez sensible au gel hivernal, mais les bourgeons floraux peuvent résister à des températures de -16 à -24°C quand ils sont dormants. L'arbre est assez résistant à la sécheresse, mais nécessite une irrigation supplémentaire pour que les fruits atteignent leur potentiel de rendement maximal (Grimplet, 2004). L'abricotier préfère les sols

profonds argilo-limoneux bien drainés dont le pH est compris entre 6 et 8. La floraison de l'abricotier se situe entre février et mars pour une récolte en Avril-Mai, en Mai-Juin pour les variétés tardives (Bahlouli et al., 2008).

1.4. Définition de l'abricot

L'abricot, fruit ou drupe de l'abricotier, est un fruit charnu dont la graine est enfermée dans un noyau lignifié et très dure (Grimplet., 2004 ; Bahlouli, 2008). Il est caractérisé par une peau veloutée, une chair charnue, peu juteuse, sucrée, parfumée, de couleur jaune orangé. Il se sépare aisément en suivant le sillon médian. Le noyau s'enlève facilement de la chair. Fruit fragile, sensible aux manipulations et aux transports. Le degré de maturité de l'abricot est apprécié par le parfum et la souplesse du fruit. La couleur n'est pas un critère fiable, car certaines variétés "rougissent" bien avant d'être mûres. Le fruit pour la consommation en frais est très fragile et doit être cueilli deux à quatre jours avant maturité et très tôt le matin ou le soir. Le fruit supporte une vingtaine de jours de conservation à - 0,5°C et 85 % d'humidité (Figure1) (Bahlouli, 2008).

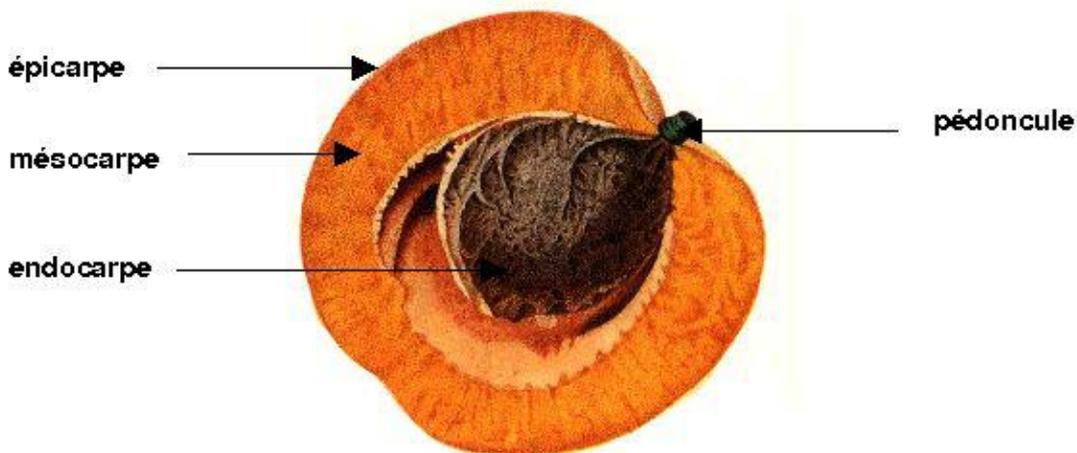


Figure 1 : Schéma simplifié d'une coupe longitudinale d'abricot à maturité (Grimplet, 2004).

1.5. Composition biochimique du fruit

L'abricot frais est un fruit de composition variée (Tableau 1) principalement constitué d'eau (85,3 – 85,60g), et de glucides (7 g). Il est particulièrement riche en fibres avec une teneur moyenne de 2 g/100g (Ursell, 2002). L'abricot constitue une bonne source des sels minéraux tels que : K (2079,2-3336,46 mg/100g (MS)), P (143,65-264,34 mg/100g (MS)), Na (77,39-107,00 mg/100g (MS)), Ca (70-189,65 mg/100g (MS)) et Mg (40,28-76,56 mg/100g (MS))(Haciseferoğulları et al., 2007). De même, les vitamines présentes dans l'abricot sont la pro- vitamine A, les vitamines C, K, E, la thiamine (B₁), la riboflavine (B₂), la niacine (B₃), pyridoxine (B₆), acide folique (B₉) et acide pantothénique (B₅). L'abricot contient des acides organiques, à savoir l'acide malique (500- 900 mg/100 g) et citrique (30-50 mg/100g) comme

les principaux acides (**Gurrieri et al., 2001**). Tandis que la présence d'acide tartrique, succinique, oxalique, galacturonique, quinique, malonique, acétique et fumarique a également été signalée. Il est important de noter que la composition biochimique moyenne du fruit et que celle-ci est susceptible d'être modifiée en fonction des variétés, du degré de maturité des fruits, de ses conditions de production et de stockage. Par ailleurs, l'abricot est reconnu comme un produit ayant des bienfaits pour la santé car en plus de sa teneur élevée en fibres, des composés phénoliques sont présents en grande quantité dans sa chair et dans sa peau (179,8 mg équivalent acide gallique/100 g fruit frais) (**Hasib et al., 2002**).

Tableau 1 : Composition biochimique moyenne d'abricot (**Hormaza et al., 2007; Ursell, 2002**).

Composants	Composition moyenne pour 100 g de produit frais				
	(g)	Minéraux	(mg)	Vitamines	(mg)
Glucides					
Saccharose	4,4-10,5	K	320-350	Vitamine B ₁	0,02-0,03
Glucose	1,1-2,70	Na	1-3	Vitamine B ₂	0,03-0,04
Fructose	0,3-0,5	Ca	15-16	Vitamine B ₃	1,1-1,4
Protéines	0,7-0,9	Mg	9,0	Vitamine C	6,00
Fibres alimentaires	2-3	Fe	0,3		
Fibres soluble	1,00	Zn	0,1-0,2		
Eau	85,3-85,6				
Éléments antioxydants					
Polyphénols (mg/100g)	179,8				
Caroténoïdes (mg/100g)	153-617				
Beta- carotène (µg)	405				
Apports énergétiques					
Calories	31,0				
Joules	129,7505				

Sur le plan nutritionnel, l'abricot est une source riche de sucres, de fibres, de minéraux, de substances phytochimiques bioactives et de vitamines comme A, C, thiamine, riboflavine, niacine et l'acide pantothénique (**Leccese et al., 2007**). Parmi les composés phytochimiques, les phénoliques, les caroténoïdes et les antioxydants sont importants pour leur valeur biologique (**Lichou et al., 2003**). D'un point de vue nutritionnel, les acides organiques maintiennent l'équilibre acide-base dans l'intestin. Les protéines et les graisses se trouvent en quantités infimes dans la chair ; Cependant, le noyau d'abricot contient des quantités appréciables de ces deux éléments, respectivement 20-30% et 40-52% (**Alpaslan & Hayta, 2006**).

Les consommateurs sont de plus en plus demandeurs d'aliments qui non seulement répondent aux besoins nutritionnels de base, mais jouent également un rôle de prévention et de traitement des maladies. Selon **Kalra Ekta (2003)**, "les aliments fonctionnels contribuent à la prévention et au traitement des maladies". Les composants alimentaires qui répondent à cet objectif sont principalement des composés phytochimiques qui sont explorés et étudiés pour leurs rôles potentiels dans l'organisme. Ces composés réduisent le risque de radicaux libres qui causent des dommages oxydatifs aux cellules vivantes et entraînent des troubles dégénératifs courants comme le cancer et les maladies cardiovasculaires (**Boyer & Liu, 2004**). Parmi eux, les composés phénoliques sont considérés comme des antioxydants très importants. Leurs propriétés antioxydantes incluent : anticarcinogène, antioxydant, anti-tumoral, anti-microbien, anti-agrégant, anti-ischémique, anti-allergique, anti-mutagène et anti-inflammatoire, ainsi qu'efficaces pour soulager les maladies cardiovasculaires (**Howlett, 2008**).

D'après le tableau 2, les abricots séchés présentent une valeur nutritionnelle intéressante. Ils sont riches en glucides (7 g/100 g MS) et des teneurs modérées en fibres alimentaires (6 g/100g MS). Ils constituent une bonne source d'éléments minéraux (K : 1380 mg/100g MS, Ca : 73 mg/100g MS et Fe : 3 mg/100g MS).

Tableau 2 : Composition moyenne d'abricot séché (**Ursell, 2002**).

Composants	Composition moyenne pour 100 g de produit séché				
	(g)	Minéraux	(mg)	Vitamines	(mg)
Glucides	7,00	K	1380	Vitamine C	1,00
Fibres alimentaires	6,00	Ca	73,00		
Fibres solubles	4,00	Fe	3,00		
Élément antioxydant					
Beta- carotène (µg)	545				

1.6. Principales variétés d'abricot

1.6.1. Dans le monde

Les variétés d'abricot connu sont difficiles à nombrer. Cela explique en partie pourquoi il y a tant de différentes classifications qui s'effectuent à partir de la forme du fruit, de la couleur de l'épiderme et de la chair, de la saveur, et de la destination des fruits (Tableau 3, annexe1).

1.7. Production de l'abricot

1.7.1. Dans le monde

L'abricot est aujourd'hui un des fruits les plus cultivés au monde, avec une production très importante totale de 89 millions de tonnes en 2016 selon les chiffres de la FAO. Une moyenne

annuelle de 12 millions de tonnes est produite par l'Union Européenne dont 1,5 million provient de la France (FAOSTAT, 2017).

Le tableau 4 montre d'une part que la Turquie occupe la première classe dans la production d'abricot avec une production de 985 000 tonnes et l'Algérie occupe la quatrième classe dans la production d'abricot dans le monde, avec une valeur de 256 890 tonnes.

Tableau 4 : Production mondiale d'abricots, en tonnes (FAOSTAT, 2017).

Position	pays	Quantité (tonnes)
1	Turquie	985 000
2	Ouzbékistan	532 565
3	Italie	266 372
4	Algérie	256 890
5	Iran	239 712
6	Espagne	162 872
7	France	148 500
8	Afghanistan	131 816
9	Maroc	112 538
10	Grèce	106 600
11	Egypte	96 226
12	Japon	86 800
13	Ukraine	86 680
14	Fédération de Russie	58 551
15	Turkménistan	48 374
16	Etats - Unis d'Amérique	37 790
17	Afrique du Sud	30 637
18	Tunisie	30 500
19	Argentine	27 027
20	Libye	25 433
21	Inde	15 435
22	Canada	942

1.7.2. En Algérie

La culture d'abricotier en Algérie est localisée particulièrement dans la wilaya de : Msila et Batna.

La production nationale total d'abricots enregistrée pour l'année 2020 de la wilaya de Batna est de 187 784,00 (qx) avec un rendement total de 44,31 (qx/ha) et une superficie totale plantée de 4238,15 9 (ha) (DSA, 2021).

D'après le tableau 5, la wilaya de Batna est parmi les principales régions productrices d'abricot en Algérie, la production concerne de nombreuses zones de la wilaya principalement : Sefiane, N'gaous, Boumaguer, Ouled si slimane, Arris, T'kout, Menaa, Bouzina et Ichemoul.

Tableau 5 : Données statistiques de la production d'abricot dans la wilaya de Batna
2020 / 2021 (DSA, 2021).

Quelques zone	Superficie plantée (ha)	Production (qx)
Sefiane	450	39 150
N'gaous	418	37 620
Boumaguer	215	19 350
Ouled si slimane	660	12 770
Arris	106	6 210
T'kout	83,25	4 150
Mena	110	4 080
Bouzina	92,50	3 000
Ichemoul	27,50	275

1.8. Transformation des abricots

L'abricot est consommé sous forme fraîche, séchée et congelée ou utilisé pour la préparation de confitures, gelées, et marmelades, pulpe, jus, nectars et produits extrudés (Chauhan et al., 2001), compotes, purées, fruits confits, garnitures de tarte et pâte d'abricot.

De plus, les amandes d'abricots sont considérées comme une excellente source d'huile de qualité, utilisée pour la cuisson et la production de produits cosmétiques, de benzaldéhydes et de charbon actif (Tabasum et al., 2018).

Chapitre 2

*Généralités sur les
prétraitements, le séchage
et la modélisation*

Le prétraitement est largement utilisé avant le séchage des produits agro-alimentaires pour inactiver les enzymes, améliorer le processus de séchage et améliorer la qualité des produits séchés.

2.1. Prétraitements

Le prétraitement est une étape essentielle avant la transformation des matières alimentaires (Senadeera et al., 2000). Il a été signalé que le prétraitement peut non seulement accélérer le taux de séchage mais aussi améliorer la qualité du produit déshydraté en expulsant l'air intercellulaire des tissus, en adoucissant la texture, en détruisant les enzymes et les micro-organismes, ou en dissociant la cire sur la peau des produits et en formant de fines fissures dans la peau. Les agents antibrunissement sont utilisés pour empêcher ou ralentir le brunissement des fruits pendant le séchage et le stockage (Xanthopoulos et al., 2019).

On a plusieurs types des prétraitements des fruits et légumes tels que : des traitements physiques : blanchiment (à vapeur d'eau et immersion dans une eau chaude), déshydratation osmotique (solutions sucrée et salée), sulfitage, traitement par bisulfite de sodium, acide citrique, la vitamine C, infrarouge, microonde, traitement par ultra son et champs électrique pulsé.

2.1.1. Pré-traitements physiques

2.1.1.1. Traitements thermiques

* Blanchiment

Le blanchiment est un traitement thermique, réalisé par immersion du produit dans un bain d'eau chaude par passage dans une atmosphère de vapeur. Sa durée est de quelques minutes, dans une gamme de 85°C à 100°C. Il permet de détruire les enzymes susceptibles d'altérer les légumes ou les fruits avant leur traitement ultérieur. Ce procédé prévient ainsi un certain nombre d'altérations organoleptiques, telles que des modifications de saveurs et de couleurs (dégradation de la chlorophylle, brunissement des pommes, etc.). Il limite également certaines pertes nutritionnelles comme la destruction des vitamines, et permet l'élimination de l'air et des gaz occlus dans les tissus végétaux facilitant la réhydratation (Dermesonlouoglou et al., 2008).

Le prétraitement de blanchiment à l'eau chaude est un prétraitement physique standard pour les fruits et légumes. Il peut détruire les enzymes et réduire les microorganismes. Mais il provoque également la dégradation de ses substances thermosensibles, comme les flavonoïdes et les composés phénoliques (Deng et al., 2019). Pour minimiser les nutriments, en particulier les nutriments hydrosolubles (solubles dans l'eau et les matières solides se dissolvent dans l'eau chaude) et réduisent les eaux usées, des systèmes de blanchiment à la vapeur ont été développés pour remplacer le blanchiment à l'eau chaude. Le blanchiment à la vapeur contribue à la rétention

de la plupart des minéraux et des composants hydrosolubles par rapport au blanchiment à l'eau, en raison de son effet négligeable d'effet de lixiviation.

Le blanchiment améliore les taux de séchage grâce à l'adoucissement de la structure et la destruction de la paroi des cellules, ce qui réduit la résistance à l'humidité lors du séchage, qui ont réduit le temps de séchage et la consommation d'énergie des fruits et légumes (**Deng et al., 2019**). Ainsi que, le blanchiment à vapeur d'eau facilite le transfert des matières dissoutes, comme il l'a été rapporté pour les tranches de pomme et de tomate précédemment blanchies à la vapeur (**Dermesonlouoglou et al., 2008; Kowalska et al., 2008**).

* **Blanchiment par impaction de vapeur surchauffée (BIVS)**

Avec l'augmentation de la demande de produits de haute qualité, il est très important de minimiser la perte de nutriments pendant le prétraitement. Le blanchiment traditionnel à l'eau chaude et à la vapeur doit être remplacé par de nouvelles techniques. Le blanchiment par impaction à la vapeur surchauffée (BIVS), également appelé blanchiment par impaction à l'air chaud à haute humidité (BIACHH), est une technologie de traitement thermique récemment développée, qui combine les avantages du blanchiment à la vapeur surchauffée et des technologies d'impaction. Le BIVS a une enthalpie, un taux de transfert de chaleur et une efficacité énergétique plus élevés, le coefficient de transfert de chaleur du BIVS était d'environ $1403 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$ avec une vitesse de $14,4 \text{ m/s}$, une température de 135°C , et une humidité relative de 35% , respectivement, c'est environ 12 fois celui de l'impact d'air chaud à la même température et vitesse. Le BIVS présente les avantages d'un blanchiment uniforme, rapide et économe en énergie, ainsi qu'une meilleure qualité de produit retenir. Le BIVS possède une excellente capacité à prévenir le brunissement et à maintenir la couleur en inactivant rapidement l'oxydase, augmenter le taux de séchage en modifiant la peau et le tissu de la pulpe (**Deng et al., 2019**). La technique BIVS est excellente pour réduire le temps d'inactivation de l'oxydase et minimiser la perte de nutriments. Par conséquent, elle jouera un rôle de plus en plus important dans le traitement des produits agricoles.

* **Blanchiment par chaleur ohmique**

Le blanchiment par chauffage ohmique est un procédé thermique dans lequel la chaleur est générée de manière interne par le passage d'un courant électrique alternatif à travers un corps tel qu'un système alimentaire qui sert d'une résistance électrique. Pendant le chauffage ohmique, les produits alimentaires sont placés entre deux électrodes, et la température du produit augmente rapidement. Il a été utilisé pour inactiver l'oxydase et intensifier le transfert de chaleur et de masse et dans certains fruits et légumes, ainsi que pour préserver la qualité nutritionnelle et organoleptique des produits (**Icier, 2010**).

*** Microondes**

Légumes prétraités au micro-ondes ayant une meilleure qualité nutritionnelle par rapport aux légumes blanchis à l'eau chaude. Donc, le traitement par microonde pourrait être un substitut aux traitements de blanchiment conventionnels. Il est des avantages tels que : des délais de traitement plus courts ou l'amélioration de l'efficacité du chauffage, plus faible ou pas d'utilisation de l'eau (Nayak et al., 2018).

2.1.1.2. Pré-traitements non thermiques*** Congélation**

L'eau est le principal composant de la majorité des aliments congelés du commerce. Une part notable de cette eau est liée à divers degrés : dans des complexes colloïdaux macromoléculaires, dans des structures gélifiées ou fibreuses à l'intérieur des cellules. Lors de la congélation, la nucléation de la glace et la croissance des cristaux apportent de nombreuses modifications au produit. Les composantes cellulaires solubles peuvent atteindre la saturation et précipiter, détruisant ainsi la turgescence des tissus ; des modifications de pH peuvent affecter les complexes colloïdaux ; des changements très marqués de pression osmotique peuvent rompre les membranes semi-perméables, ce qui facilite le transfert de masse au cours de la déshydratation osmotique. La vitesse de congélation et la température finale de conservation sont des points critiques pour le maintien des propriétés sensorielles, fonctionnelles ou biologiques après la congélation (Bchir, 2011).

*** Traitement à ultrasons**

L'application d'ultrasons comme prétraitement crée une structure plus poreuse dans les fruits, ce qui facilite ensuite de meilleurs taux de transfert de masse pendant le séchage (Sogi et al., 2015). Souvent, lorsque les fruits frais sont coupés, il se produit un brunissement enzymatique par le polyphénol oxydase et d'autres enzymes oxydatives. L'application d'ultrasons comme prétraitement pour le séchage peut être effectuée pour contrôler le brunissement enzymatique afin d'améliorer et d'atteindre la couleur souhaitable des produits finis séchés. En outre, les ultrasons créent des cavitations, qui peuvent être utiles pour l'élimination de l'humidité fortement attachée (Yildiz & Izli, 2019). Les ultrasons sont des méthodes de prétraitement non thermo-physiques qui produisent un effet de cavitation lorsqu'ils se propagent dans un milieu élastique, formant ainsi un effet d'éponge à flux inertiel, favorisant le transfert de masse et protégeant les substances sensibles à la chaleur (Gökçe Kocabay & İsmail, 2017).

***Champ électrique pulsé (PEF : Pulsed Electric Field)**

La pertinence de l'utilisation des champs électriques pulsés (PEF) pour améliorer les performances de divers modes de séchage a été soulignée. Il a été rapporté que l'exposition d'un tissu biologique à un champ électrique externe pendant quelques microsecondes provoque une

augmentation transverse du potentiel transmembranaire. Quelques études ont montré la capacité du traitement PEF sur les fruits et légumes à accélérer le processus de lyophilisation en augmentant le taux de séchage et/ou en réduisant le temps de séchage (Al-Sayed et al., 2018).

Dans l'industrie alimentaire, le PEF est très prometteur, notamment pour l'extraction du jus des fruits et légumes. A savoir, les méthodes standard (traitement enzymatique, mécanique ou thermique) peuvent entraîner une perte de la qualité du jus (perte de vitamines, etc.) et du goût en raison de la chaleur ou de l'activité enzymatique (Haberl Meglič et al., 2021).

* Haute pression hydrostatique (HHP)

Le prétraitement par haute pression hydrostatique (HHP) est une technologie innovante et émergente, qui est une technologie basée sur la pression. Elle consiste à appliquer une onde de choc à haute pression (allant de 100 à 800 MPa) transmise par de l'eau à des matériaux pendant un temps de séjour et une température souhaitée (Deng et al., 2019). HHP est une méthode de prétraitement non thermique, qui a été appliquée pour améliorer le transfert de masse de l'eau pendant le processus de séchage. La dégradation de la structure de la paroi cellulaire et l'amélioration de la perméabilité cellulaire ont été observées dans les fruits et légumes traitées au HHP, ce qui pourrait être responsable de l'augmentation de la mobilité et du taux de transfert de masse de l'eau (Zhang et al., 2020). Les applications de la technologie HHP avant le séchage pour réduire le temps de séchage et minimiser la détérioration de la qualité (Deng et al., 2019).

2.1.1.3. Pré-traitements chimiques

* Solution hyper-osmotique

La déshydratation osmotique est l'un des prétraitements les plus pratiqués avant le séchage pour réduire la consommation d'énergie et améliorer la qualité des aliments. Elle implique l'immersion de matière en solution hypertonique (principalement le sucre ou sel) pendant plusieurs heures (Deng et al., 2019). Au cours du prétraitement osmotique, la structure cellulaire de la plante agit comme une membrane semi-perméable, un transfert de masse à contre-courant se produit : le soluté s'écoule dans les produits, tandis que l'humidité est transférée de l'intérieur vers la solution hypertonique (Ciburzyńska et al., 2016).

La déshydratation osmotique élimine de 10 à 70 % de l'eau des fruits et légumes à température ambiante sans provoquer les changements de phase, qui offre un autre moyen de réduire le temps de séchage et d'atténuer la dégradation des composés bioactifs des effets thermiques du séchage (Deng et al., 2019).

Les inconvénients et les avantages de la DO sont mentionnés dans la figure 2.

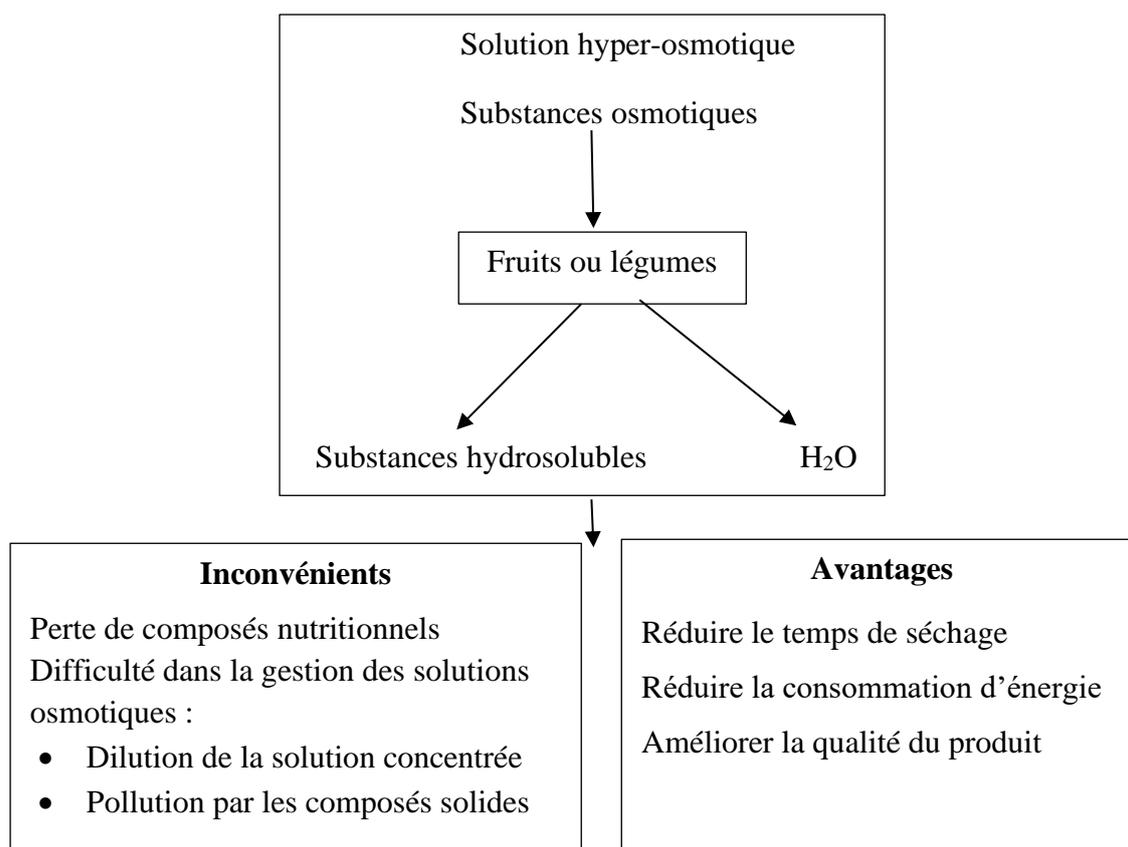


Figure 2 : Déshydratation osmotique des légumes ou des fruits (Deng et al., 2019).

*Liqueur alcaline

Le prétraitement par trempage alcalin est principalement utilisé pour les fruits à baies entiers, dont la peau extérieure est recouverte de cire hydrophobe. Le revêtement de cire est constitué en grande partie d'acide oléanolique, ce qui entraîne un faible taux d'évaporation de l'humidité pendant le séchage, il constitue un obstacle au séchage (Serratos et al., 2008).

Trempage des baies dans des émulsions alcalines d'esters éthyliques ou méthyliques, d'hydroxyde de sodium et de carbonate de potassium pendant plusieurs minutes. Hydroxyde de sodium et de carbonate de potassium pendant plusieurs minutes peut dissoudre la couche de cire ou détruire la microstructure de la couche de cire épicuticulaire, ou même la rupture de la liaison intracellulaire par la désestérification de la pectine. Puis, ils améliorent la perméabilité de la peau à l'humidité, faciliter la diffusion de l'humidité et augmenter le taux de déshydratation (Deng et al., 2019).

Le prétraitement par trempage dans la liqueur alcaline accélère la vitesse de séchage et réduit le temps de séchage, diminuant ainsi la détérioration de la qualité des produits.

* Solution de sulfite

La sulfitation ou sulfuration a été largement utilisée dans l'industrie alimentaire pour réduire le noircissement pendant le séchage et prévenir la perte de qualité pendant le traitement et le

stockage des aliments. Elle est généralement réalisée à l'aide de dioxyde de soufre gazeux ou de sels de sulfure solubles dans l'eau tels que le métabisulfite de potassium ($K_2S_2O_5$), le sodium ($Na_2S_2O_5$) et l'hydrogénosulfite de sodium ($NaHSO_3$). Lorsque le SO_2 est absorbé par le fruit, il est transformé principalement en ion bisulfate. L'utilisation de sulfites à faible concentration permet d'éviter le brunissement enzymatique et non enzymatique ainsi que l'activité microbienne.

Le traitement par sulfitation a été largement utilisé pour améliorer la qualité (couleur, taux de réhydratation, teneur en B-carotène, etc.) des produits agricoles, tels que l'abricot, la tomate, la pomme, la banane, la pomme de terre et la carotte (**Deng et al., 2019**).

*Liqueur acide

Le prétraitement acide est également fréquemment utilisé pour améliorer la qualité du produit en inactivant les enzymes, améliorer la stabilité des pigments et la modification de la texture des produits agricoles. L'acide citrique, en tant qu'acide organique, est l'acide le plus couramment utilisé comme agent antidépresseur et comme modificateur de texture des fruits et légumes. En attendant, il a été confirmé que l'acide citrique peut accélérer le processus de séchage, comme le desserrage de la pectine dans un environnement acide, à son tour promouvoir l'élimination de l'eau (**Hiranvarachat et al., 2011**).

2.2. Séchage

2.2.1. Définition

Le séchage est la méthode de conservation la plus ancienne et la plus populaire pour les produits alimentaires et agricoles. Le concept fondamental du séchage consiste à réduire le taux d'humidité des produits à un niveau qui stoppe la croissance microbienne et maintient la valeur nutritive et les composés bioactifs du produit à des niveaux considérablement plus élevés. Plusieurs méthodes de séchage ont été mises au point pour préserver différents types de produits alimentaires en raison d'une multitude de préoccupations environnementales, d'efficacité énergétique et économiques. En outre, toutes les méthodes ont quelque chose en commun : la chaleur est appliquée par conduction, convection et radiation (**Boudraa, 2020**).

2.2.2. Objectif de séchage

L'objectif principal du séchage est de diminuer l'activité de l'eau (a_w) de divers matériaux qui consiste de convertir ce dernier en produits stabilisés. Il consiste à enlever l'excès d'humidité d'un produit par évaporation de l'eau qu'il contient aux valeurs de $a_w < 0,5$, afin de permettre leur stockage à la température ambiante (**Bonazzi & Dumoulin, 2011**).

L'utilisation du séchage dans les industries agroalimentaires peut cependant avoir des buts multiples :

- Accroître la durée de conservation des produits (viandes, poissons, fruits, graines, pâtes, épices, thé, champignons, ...);

- Stabiliser les produits agricoles (maïs, riz, blé, oléagineux, etc.) ;
- Produits intermédiaires issus de processus industriels, pour la stabilisation et le conditionnement (extraits de café et de thé, pâtes, saucisses, sucre, etc.)
- Transformer les produits par des réactions biochimiques ou biologiques (produits de salaison, touraillage de malt, ...) ;
- Convertir les produits périssables (excédentaires) en formes stables (par exemple, le lait en poudre) ;
- Stabiliser des co-produits industriels pour l'alimentation animale (pulpes de sucrerie ou d'amidonnerie, drêches de brasserie, farines de viande et de poisson ...) ;
- Obtenir des aliments de commodité particuliers (flocons de pommes de terre, boissons instantanées, céréales pour le petit déjeuner, etc.), présentant des caractéristiques de reconstitution rapide et de bonnes qualités sensorielles, pour une utilisation particulière, comme dans les distributeurs automatiques, ou directement pour les consommateurs ;
- 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, etc (**Bonazzi & Dumoulin, 2011**).

Comme toutes les méthodes de préservation thermique des produits, l'utilisation du séchage présente des avantages et des inconvénients.

2.2.3. Avantages et inconvénients du séchage

2.2.3.1. Avantages du séchage

Les principaux avantages du procédé de séchage sont :

- L'universalité du procédé, accessible à tous, y compris pour les particuliers ;
- Une durée de conservation des aliments déshydratés qui peut être de plusieurs mois ;
- La désactivation des enzymes responsables de la dégradation des aliments ;
- L'inhibition de la croissance des micro-organismes grâce à la réduction de l'activité d'eau ;
- Sa capacité à être utilisée à des fins commerciales permettant de limiter les pertes de récoltes ;
- La diminution des coûts financiers et environnementaux liés au transport des marchandises en raison de la réduction massique (**Fournier, 2003**).

2.2.3.2. Inconvénients du séchage

Comme tous les traitements thermiques, le séchage peut entraîner, en particulier, des pertes d'arômes, de vitamines et de pigments (**Fournier, 2003**), des réactions de brunissement, des durcissements superficiels, des modifications irréversibles de texture et donc de capacité à la

réhydratation, des pertes de constituants volatils et la modification de la répartition de l'humidité dans le produit. En général, le séchage a globalement moins d'inconvénients que d'autres procédés de conservation (appertisation, congélation ou traitement aseptique). Le séchage des fruits, des légumes et des épices reste encore une méthode très répandue de conservation de ces aliments (**Chakraverty, 2003**).

2.2.4. Notion de l'activité de l'eau

L'activité de l'eau, définie comme rapport de la pression de vapeur d'eau (P) du produit à la pression de vapeur d'eau pure (P₀) dans les mêmes conditions (la température) (**Kerdudo, 2014**).

$$A_w = P/P_0 \quad (1)$$

Avec :

A_w : Activité de l'eau ;

P : Pression de vapeur d'eau (Pa) ;

P₀ : Pression de vapeur d'eau pure (Pa).

L'activité d'eau est un indicateur principal de la qualité des produits alimentaires. L'eau contenue dans les produits alimentaires est largement classée par catégories dans deux classes eau libre et liée. L'eau libre est définie comme eau qui peut être facilement extraite à partir des nourritures par le serrage, le découpage, alors que l'eau liée n'est pas comme facile à extraire car est liée aux nutriments tels que les protéines, les pectines est donc non libre pour agir en tant que dissolvant pour des sels et des sucres (**Gowen, 2012**).

Les fruits et légumes frais peuvent contenir jusqu'à de 95% de la teneur en eau. L'eau est un vecteur des infections bactériennes, chimiques et biochimiques, et est impliquée dans les réactions de dégradation du produit. Il est donc nécessaire de déshydrater partiellement le produit pour stabiliser, en enlevant une partie de l'eau "libre" (**Smida et al., 2014**).

2.2.5. Transferts

Le séchage est une opération complexe qui met en jeu des transferts couplés de matière (d'eau essentiellement) et de chaleur, accompagnés de modifications physico-chimiques et de structure du matériau (**Bonazzi & Bimbenet, 2003**).

On a plusieurs types de transferts tels que : Transferts internes, transfert de matière, transfert de chaleur et transfert externe.

2.2.5.1. Transferts internes

Le transfert de chaleur interne de l'eau en vapeur dans l'aliment (**Bazinet et Castaigne, 2011**).

2.2.5.2. Transfert de matière

L'eau migre de l'intérieur vers la surface du produit sous l'action de divers mécanismes qui peuvent se combiner. Il est généralement admis que le transport capillaire est l'un des mécanismes fondamentaux dans les produits poreux riches en eau (**Nadeau et Puiggali, 1995**).

Dans les produits alimentaires, on préfère souvent attribuer le transport d'eau à une diffusion d'eau liquide sous l'effet du gradient de concentration. L'évolution de teneur en eau s'exprime en fonction du gradient de teneur en eau et d'une diffusivité globale qui regroupe les différents phénomènes de transport, dans une loi analogue à la seconde loi de Fick (**Zogzas & Maroulis, 1996**).

$$\partial X/\partial t = D_{app} \nabla^2 X \quad (2)$$

Avec :

D_{app} : Diffusivité apparente (exprimée en m^2/s) ;

X : Teneur en eau en base humide (%) ;

t : Temps (s) ;

$\nabla^2 X$: Variation de la teneur en eau (%).

2.2.5.3. Transfert de chaleur

La chaleur se déplace naturellement d'un milieu chaud à un milieu froid. Autrement dit, pour qu'il y ait un transfert de chaleur, il faut que l'on ait une différence de température (**Bazinet et Castaigne, 2011**).

La loi de Fourier, qui caractérise la diffusion de chaleur dans un milieu immobile (ce qui oblige à négliger ici l'effet de la migration de l'eau, ou convection, sur ce transfert) s'écrit

$$\partial \theta / \partial t = D_t \nabla^2 \theta \quad (3)$$

Avec :

D_t : Diffusivité thermique (m^2/s) ;

T : Température ($^{\circ}C$) ;

t : Temps (s) ;

$\nabla^2 \theta$: Variation de température ($^{\circ}C$).

2.2.5.4. Transferts externes

Au cours d'un séchage par entraînement, la vapeur d'eau est éliminée de la surface du produit par convection. La chaleur est transférée par convection de l'air vers la surface, et éventuellement par rayonnement (infrarouge ou micro-onde) ou par conduction (si le produit est posé sur une plaque ou sur un tapis chauffant) (**Bonazzi et Bimbenet, 2003**). Le transfert de chaleur externe qui apporte l'énergie nécessaire au changement de phase de l'eau (liquide en vapeur) (**Kemp et al., 2001**).

2.2.6. Cinétique de séchage

Étant données les très grandes variabilités et diversité des produits alimentaires et biologiques, le meilleur moyen de caractériser le comportement au séchage d'un produit consiste à mesurer expérimentalement sa cinétique de séchage. Dans le cas d'un produit solide séché par entraînement, l'expérience de base consiste à placer le produit en question dans un courant d'air parfaitement maîtrisé (température, humidité, vitesse) et à enregistrer l'évolution de sa masse au cours du temps, par des pesées à intervalles de temps réguliers (**Kemp et al., 2001**).

L'étude expérimentale de la cinétique de séchage permet de caractériser le comportement d'un produit alimentaire donné au cours de sa déshydratation.

Les courbes utilisées pour décrire l'évolution du produit au cours du séchage sont :

- Le taux d'humidité du produit (n_s) en fonction du temps (t), on obtient une courbe de séchage dont la forme la plus complète (c'est-à-dire lorsque toutes les phases de séchage existent) est donnée sur la figure [3(A)].
- L'allure de séchage (dn_s/dt) en fonction du temps (t), on peut obtenir une nouvelle courbe qui est donnée sur la figure [3(B)].
- L'allure de séchage (dn_s/dt) en fonction du taux d'humidité (n_s) conduit à la courbe représentée sur la figure [3(C)] (figure 3).

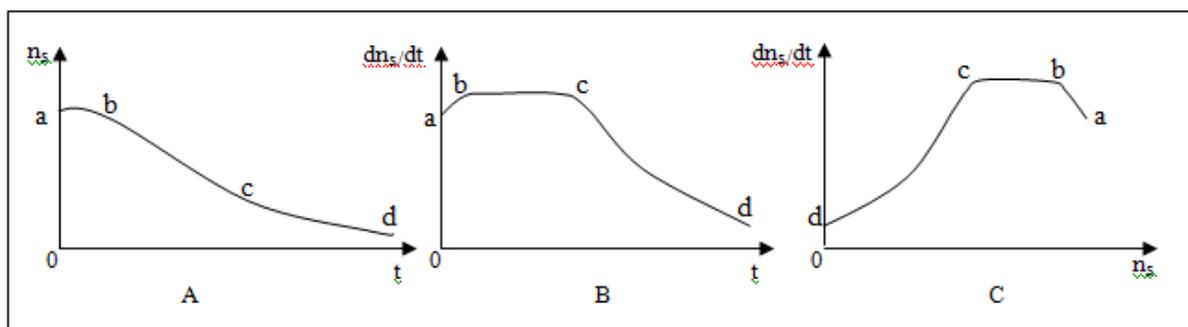


Figure 3 : Courbes d'évolution type au cours du temps de la teneur en eau du produit (A), L'allure de séchage (B) et l'allure de séchage en fonction du taux d'humidité (C) (**Charreau et Cavaille, 1995**).

2.2.7. Technologies de séchage

Le séchage est une opération de transfert couplé de chaleur et de masse pour laquelle il est nécessaire de fournir de l'énergie. Plusieurs types de séchoirs et de méthodes de séchage ont été adaptés à différentes situations.

D'utilisation facile et pratique, les paramètres opératoires des procédés classiques de séchage peuvent être aisément contrôlés (**Mounir et al., 2014**).

2.2.7.1. Séchage thermique

* Séchage par ébullition

L'ébullition a lieu lorsque la température du produit est élevée (par conduction sur une surface chaude, par rayonnement, par de la vapeur d'eau surchauffée, par immersion dans de l'huile chaude) à une valeur telle que la pression de vapeur d'eau de ce produit est égale à la pression totale ambiante :

Il découle de cette définition que :

- La température d'ébullition dépend de la pression totale (elle est plus basse sous vide qu'à pression atmosphérique) et de l'activité de l'eau du produit (elle augmente lorsque a_w diminue) (**Bonazzi et Bimbenet, 2003**).

- Le gaz en contact avec la surface du produit est de la vapeur d'eau pure ; cette propriété permet de sécher des produits oxydables en l'absence d'oxygène de l'air ou d'éliminer un solvant volatil, combustible en présence d'air, par ébullition dans une enceinte fermée (**Nadeau et Puiggali, 1995**).

* Séchage par entraînement

Lorsqu'un produit humide est placé dans un courant de gaz (air le plus souvent) suffisamment chaud et sec, il s'établit un écart de température et de pression partielle d'eau tel que le gaz apporte au produit une partie au moins de l'énergie nécessaire à l'élimination de l'eau ainsi que l'eau est évaporée sans ébullition sous l'effet du gradient de pression partielle d'eau (**Djerroud, 2010**).

* Fumaison

La fumaison est une opération de transformation pour la conservation de produits (viandes, poissons ou fromages) et la diversification alimentaire (conférer une saveur). Il est souvent associé à une cuisson, un séchage et/ou un salage.

On distingue deux types de fumage :

- **Le Fumage à froid** : La température ambiante est maintenue entre 20°C et 25°C.

- **Le fumage à chaud** : La température ambiante varie entre 60°C et 120°C (**Mathavi et al., 2013**).

2.2.7.1.4. Séchage à l'air libre

Le séchage à l'air libre est réalisé dans l'ombre, avec une circulation naturelle de l'air. La température moyenne de la chambre est de 22 ± 2 °C. Le séchage est contrôlé par convection naturelle (**Lahmari et al., 2012**).

* Opération de friture

La friture est une opération qui permet en une seule étape de déshydrater, cuire, texturer, imprégner et développer des saveurs (**Jean, 2002**). Le procédé de séchage par friture consiste à

mettre en contact une phase solide humide divisée (la boue d'épuration) et une phase liquide non miscible (une huile alimentaire usagée) (Albitar, 2010).

***Séchage solaire**

Le séchage au soleil est une technique traditionnelle qui utilise l'énergie par exposition directe pour préserver les légumes et les fruits. Ce processus présente de nombreuses lacunes : les produits avariés doivent aux conditions climatiques indésirables, à la dégradation nutritionnelle, à la perte du produit due aux parasites, aux oiseaux et aux animaux. En outre, le processus est à forte intensité de main-d'œuvre, qui prend du temps et nécessite une grande surface pour étaler les produits à sécher (Bhat & Paliyath, 2012).

***Séchage à l'étuve**

Cette méthode, l'air chauffé est mis en contact avec le matériel humide pour faciliter la chaleur et le transfert massif ; la convection est principalement impliquée. Il faut préciser la consigne de température de l'étuve, le temps de séjour, et la taille de l'échantillon à tester. Le choix de ces deux critères (taille et temps de séjours) doit être adapté au rapport surface/volume (Vasseur, 2011).

***Séchage par micro-onde**

Le terme "micro-onde" fait référence à un rayonnement électromagnétique dans la gamme de fréquences de 300 MHz à 300 GHz avec une longueur d'onde de 1 m -1 mm. Il s'agit de la propagation de l'énergie électromagnétique dans l'espace au moyen de champs électriques et magnétiques variant dans le temps. La génération de chaleur par micro-ondes est causée par une interaction entre les micro-ondes et le milieu par laquelle une partie de l'énergie électromagnétique est dissipée de manière volumétrique sous forme de chaleur. Les mécanismes de dissipation de l'énergie dépendent des caractéristiques du milieu et de la fréquence de l'onde (Feng et al., 2012). La diminution du temps de séchage due au chauffage volumétrique du matériau diélectrique augmente l'utilisation des micro-ondes comme source d'énergie thermique (Boudraa, 2020).

• Principe

Le séchage par microonde appartient au type de séchage par ébullition et obéit à un transfert de chaleur par rayonnement. Ce rayonnement, issu des ondes électromagnétiques, a une fréquence qui se situe entre celle de la lumière infrarouge et celle des ondes de télévision. Les fréquences utilisables par les applications industrielles des micro-ondes sont règlementées pour éviter le risque d'interférence avec la radiocommunication et les radars, qui sont les principales utilisations des micro-ondes. La fréquence de 2450 MHz est généralement utilisée. La fréquence de 915MHz fait en France l'objet de quelques applications de tempérage et de décongélation dans l'industrie agroalimentaire (Anizon et al., 2006) (Figure 3).

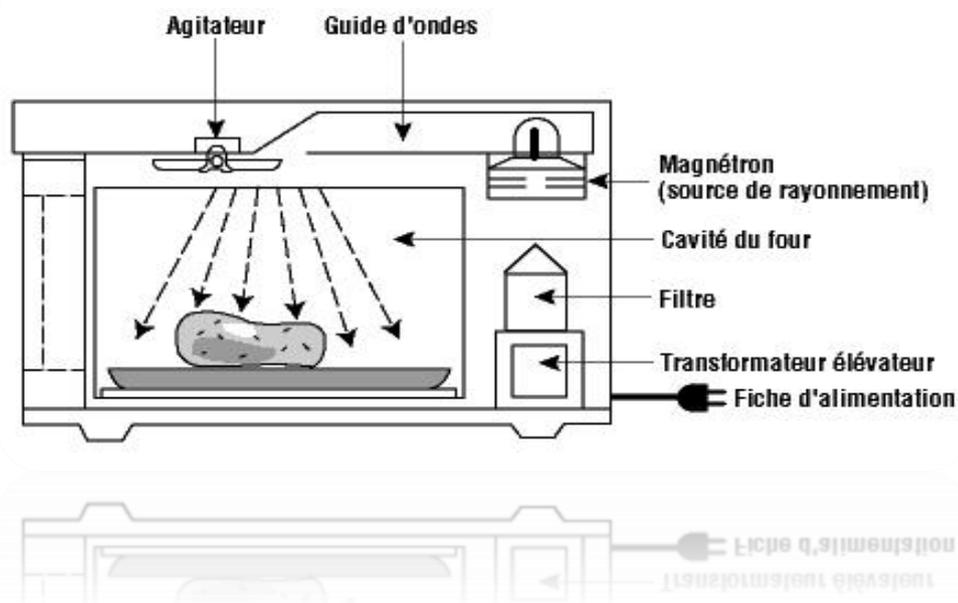


Figure 4 : Présentation d'un micro- onde (Fito et al., 2005).

• Avantages et inconvénients des micro-ondes

Le séchage par micro-onde présente les avantages, entre autres comme une opération très rapide dans le temps, permettant des économies d'énergie, et une qualité du produit plus élevée. Ce séchage est très élargi dans diverses applications comme l'inactivation, la stérilisation enzymatique et la pasteurisation des produits alimentaires (jus de fruit, laits, purée alimentaire, viande) (Fito et al., 2005).

L'absence d'inertie permet une régulation et un asservissement aisé, la production de la chaleur étant liée à la nature de la matière elle-même et en fin le chauffage est sélectif seul le produit est chauffé, et non l'environnement (Mikula, 1992).

D'autre part, le séchage par microondes présente également quelques autres inconvénients tels que :

- Le coût très élevé des installations microondes,
- L'hétérogénéité du chauffage par microondes donnant naissance à des gradients de température à l'intérieur du produit.

• Application du micro- onde dans l'industrie agro- alimentaire

- Chauffage industriel et domestique (fours à micro- ondes)

Le séchage des produits alimentaires par microondes a fait l'objet de nombreuses études. Ces dernières ont concernés essentiellement les cinétiques de séchage, la combinaison des microondes avec d'autres processus de séchage tels que l'air, la lyophilisation, le vide,..., et la modélisation du chauffage et du séchage par microondes (Hill & Marchant, 1996).

Plusieurs chercheurs ont montré la possibilité de séchage des fruits et légumes par microonde tels que : bananes (Maskan, 2000), kiwis (Maskan, 2001), oranges (Diaz et al.,

2003), citrouille (Alibas, 2006), ails (Sharma & Prasad, 2006), épinards (Ozkan et al., 2007), pomme de terre (Darvishi, 2012), grenade (Horuz & Maskan, 2015), les tranches et les moitiés des abricots (Albanese et al., 2013; Horuz et al., 2017; Igual et al., 2012; Karatas & Kanişli, 2007), champignons (Dutta et al., 2012), betteraves rouge (Dirim et al., 2019) et pommes (Dai et al., 2019).

- Déshydratation

Déshydratation par micro-onde des produits sensibles pour l'obtention de poudre et cristaux parfaitement réhydrater, température de fonctionnement faible +30°C temps de passage rapide parfait conservation des propriétés organoleptique originale (Bernard, 1975).

En effet, étant donné que l'énergie est absorbée de préférence par les zones où l'humidité résiduelle du produit est la plus élevée, les microondes peuvent être employées en fin de séchages pour rendre homogène la répartition de l'eau dans toute la masse du produit. Les micro-ondes permettent également de transformer en vapeur l'eau des zones profondes sans surchauffer les zones externes et sans provoquer des migrations de solutés à l'intérieur ; on obtient ainsi des produits très poreux, sans croûter, qui se laissent réhydrater facilement. Ce procédé est utilisé pour le séchage des pâtes alimentaires destinées aux « potages instantanés » (Cheftel, 1979).

- Lyophilisation

Les micro-ondes peuvent être mise à profit pour réduire la durée de la lyophilisation ; en effet les micro-ondes traversent facilement sans produire de réchauffement, la couche sèche extérieure qui au cours de la lyophilisation, opposé comme on le sait une résistance notable au transfert de chaleur par conduction, c'est donc en fin de lyophilisation les micro-ondes présentent le plus d'intérêt (Bernard, 1975).

- Pasteurisation et stérilisation

Des procédés faisant appel au chauffage par micro-ondes ont été suggérés également pour la pasteurisation ou la stérilisation d'aliment conditionnés en sachets plastiques hermétiquement clos. Les micro-ondes traversent en effet les matières plastique et le verre (tandis qu'elles sont réfléchies par les métaux, ce qui permet de les guider) (Chaftel, 1979).

- Décongélation

Sous-entend le passage à une température positive. La réglementation exige qu'elle s'effectue à une température comprise entre 0 et +4°C dans un local à l'abri des souillures et / ou des contaminations (Cheftel, 1979).

- L'extraction des huiles essentielles sans solvant assistée par microondes

Les nouvelles technologies telle que les extractions par les fluides supercritiques ou par micro-ondes, plus sophistiquées sont désormais mise à contribution afin de pouvoir obtenir des

extraits aromatiques d'origine végétale de qualité accrue et dans des délais plus courts par rapport à ceux des technique traditionnelle (**Lucchesi, 2005**).

* Séchage sous vide

Le vide permet d'abaisser la température d'ébullition de l'eau et donc de limiter des dénaturations d'origine thermique associées aux séchoirs classiques à air chaud (**Albagnac et al., 2002**).

- **Les paramètres de séchage sous vide**

- **Pression**

Il existe différents systèmes pour modifier la pression d'une enceinte. On peut les classer en deux catégories :

- Le vide hydraulique obtenu par le pressage forcé de l'eau dans un hydro éjecteur ou anneau liquide.

- Le vide mécanique obtenu par des pompes du même nom (**Albagnac et al., 2002**).

- **Température de la matière soumise à dessiccation**

Lors du séchage sous vide discontinu il y a alternance des phases de réchauffement et des phases de vide. Pendant les phases de réchauffement, la température à la surface est toujours supérieure à la température au cœur. Dès qu'arrête le chauffage et qu'on met en marche le système de vide, l'évaporation de l'eau en surface fait baisser la température des couches superficielle. Les gradients de température s'inversent et des lors, sont favorables au mouvement de l'eau. Sous vide continu, les gradients de température s'opposent au mouvement de l'eau. On distingue pour les températures proches à l'extrémité du produit une première phase où les températures sont quasiment constantes, une deuxième phase où les températures croient dans le matériau et enfin une troisième phase où les températures semblent se stabiliser (**Défo, 1994**).

- **Surface d'évaporation**

Un autre facteur de dessiccation est celui de la surface d'évaporation. Plus celle –ci est importante, plus la vitesse d'évaporation sera grande pour obtenir cette surface (**Zogzas & Maroulis, 1996**).

- **Principaux avantages du séchage sous vide**

De par ses caractéristiques de fonctionnement, le séchage sous vide comporte des avantages non négligeables des points de vue de la productivité, de la qualité et de la consommation énergétique (**Vincent, 2006**).

- **La productivité**

Les temps de séchage plus courts des procédés conventionnels peuvent s'expliquer par trois principales raisons :

- La température d'ébullition de l'eau est abaissée sous vide, d'où l'intensification de l'évaporation en surface.
- La conductivité hydrique effective du matériau s'accroît avec la réduction de la pression.
- L'action du vide se traduit par une diminution de la résistance au transfert de masse au niveau de la couche limite (évaporation en surface). Le facteur de rapidité est variable en fonction de l'essence et de la dimension des produits (**Vincent, 2006**).

- **La qualité**

Le séchage sous vide possède des caractéristiques favorables à l'obtention d'une bonne qualité des produits séchés. Le vide, provoquant un abaissement du point d'ébullition de l'eau, permet un séchage à des températures relativement basses (**Vincent, 2006**).

- **L'énergie**

Les temps de séchage plus courts et les températures d'opération plus basses minimisent les pertes de la chaleur des séchoirs sous vide (**Vincent, 2006**).

***Séchage hybrides**

Les méthodes de séchage hybrides mises au point pour la déshydratation des légumes, des fruits et des produits aquatiques doivent non seulement être efficaces et économiques, mais aussi donnent des produits de haute qualité basés sur la saveur, les nutriments, couleur, réhydratation, uniformité, apparence et texture (**Vincent, 2006**).

- **Avantage de séchage hybrides**

Les nouvelles techniques de séchage hybrides sont désormais largement utilisées pour le séchage économe en énergie d'aliments frais tels que les légumes, les fruits et les épices. Le choix de méthodes de séchage appropriées peut éviter une dégradation de la qualité, des dommages structurels aux aliments séchés et une consommation d'énergie plus élevée (**Miranda et al., 2009**).

Les techniques de séchage idéaux présentent de nombreux avantages au cours du processus de production, notamment un fonctionnement plus sûr, des capacités plus élevées, une meilleure qualité des produits, un impact environnemental moindre, une meilleure efficacité énergétique et un coût moindre (**Mujumdar Arun & Law, 2010**).

2.2.7.2. Séchage non thermique

***Lyophilisation**

La lyophilisation est un procédé de déshydratation à température suffisamment basse qui offre des produits déshydratés de haute qualité et permet une meilleure consommation des constituants de base des produits (**Bernard, 1975**).

Cette technique consiste à ôter l'eau d'un produit liquide, pâteux ou solide, à l'aide de l'action combinée du froid et du vide. Le principe de base est que lorsqu'on réchauffe de l'eau à

l'état solide à très basse pression, l'eau se sublime, c'est à- dire qu'elle passe directement de l'état solide à l'état gazeux. Cette technique permet de conserver à la fois le volume et l'aspect du produit traité (**Zogzas et Maroulis, 1996**).

* Séchage osmotique

La déshydratation osmotique (OD) est une opération employée pour le déplacement partiel de l'eau des tissus végétaux par immersion dans une solution hypertonique, de sucre et/ou saline, pour réduire la teneur en eau des nourritures avant le processus de séchage réel (**Anizon et al., 2006**).

2.3. Modélisation et intelligence artificiel (IA)

Le procédé de séchage pose un problème de contrôle difficile, car, il est non linéaire et complexe incluant des phénomènes simultanés de transfert de chaleur et de masse, ainsi que des transformations physiques ou chimiques, qui peuvent causer des changements dans la qualité des produits (**Abano et al., 2021**). Les changements physiques qui peuvent survenir incluent des modifications géométriques (retrait), le gonflement, la cristallisation et des transitions vitreuses. Dans certains cas, des réactions chimiques ou biochimiques désirables ou indésirables peuvent se produire, entraînant des changements dans la couleur, la texture, l'odeur, ou d'autres propriétés du produit solide. Le séchage résulte de la vaporisation de l'eau initialement à l'état liquide, en fournissant de la chaleur au produit initialement humide. Comme indiqué plus haut, la chaleur peut être fournie par convection (séchoirs directs), par conduction (séchoirs contacts ou séchoirs indirects), par rayonnement. Le transport de l'humidité à l'intérieur du solide peut se produire par l'un ou plusieurs des mécanismes suivants de transfert de masse (**Nguyen, 2015**).

De nombreux modèles de séchage performants ont été développés pour clarifier le mécanisme de séchage par convection de divers produits agricoles, en particulier les fruits et légumes, pour les utiliser dans la conception, la construction et la gestion des systèmes de séchage (**Ghimire et al., 2020**). Les conditions de séchage, le type de sécheur et les caractéristiques du matériau à sécher ont tous une influence sur la cinétique du séchage (**Onwude et al., 2016**). Les modèles de cinétique de séchage sont donc significatifs pour décider des conditions de séchage idéales, qui sont des paramètres importants en termes de conception et d'optimisation des équipements, et d'amélioration de la qualité des produits (**Giri & Prasad, 2007**). Ainsi, pour analyser le comportement de séchage des fruits et des légumes, il est important d'étudier le modèle cinétique de chaque produit particulier.

2.3.1. Modèles empiriques

Le modèle de séchage en couche mince est le plus fréquemment utilisé parmi ces techniques de modélisation. Plusieurs chercheurs ont proposé des modèles mathématiques pour

décrire le phénomène de changement de la teneur en eau, du transfert de chaleur et de la masse dans le séchage (Nguyen, 2015). L'étude de la modélisation mathématique en couche mince des données cinétiques de séchage de divers produits agricoles ont été rapportées dans la littérature pour les bananes plantains, les mangues et les maniocs (Koua et al., 2009), les noix de coco (Fernando & Amarasinghe, 2016), les kiwis (Vallespir et al., 2019; J. Wang et al., 2019), les canneberges (Nowacka et al., 2019), les aubergines (Erenturk et al., 2020), les bananes (Tunckal & Doymaz, 2020), les coings (Abbaspour-Gilandeh et al., 2020a), les pommes de terre (Onu et al., 2020), les betteraves (Dasore et al., 2020), les carottes (Guo et al., 2020), les pommes (Rojas et al., 2020; Salehi & Satorabi, 2021), les abricots (Satorabi et al., 2021), les feuilles de *Ocimum gratissimum* et de basilic citron (*Ocimum africanum*) (Mbegbu et al., 2021).

Les équations mathématiques peuvent être des modèles théoriques, semi-théoriques et empiriques. Le premier d'entre eux ne comporte que la résistance interne au transfert de masse, tandis que les autres considèrent la résistance externe au transfert de masse entre le produit et l'air. Les modèles théoriques expliquent clairement les comportements du séchage du produit et peuvent être utilisés dans toutes les conditions du procédé, bien qu'ils comportent de nombreuses hypothèses provoquant des erreurs considérables. Les modèles théoriques les plus utilisés sont dérivés de la diffusion. De la même façon, les modèles semi-théoriques sont généralement issus de la deuxième loi de Fick et des modifications de ses formes simplifiées (d'autres modèles semi-théoriques sont dérivés de la loi de refroidissement de Newton) (Jazini & Hatamipour, 2010). Ils sont plus simples et ont besoin de moins d'hypothèses en raison du recours à quelques résultats expérimentaux. D'autre part, ils ne sont valables que dans les conditions du procédé appliqué (Nguyen, 2015). Les modèles empiriques ont des caractéristiques similaires aux modèles semi-théoriques. Ils dépendent fortement des conditions expérimentales et donnent des informations limitées sur le transfert de chaleur et de masse au cours du processus de séchage (Erbay & Icier, 2010; Nguyen, 2015). En raison des caractéristiques des modèles semi-théoriques et empiriques, ainsi qu'à la teneur en eau élevée de nombreux fruits et légumes, ces modèles sont largement appliqués à l'estimation de la cinétique du séchage (Onwude et al., 2016).

Les catégories de modèles de couches minces les plus largement appliquées sont les modèles semi-théoriques et empiriques (Akpinar, 2006; Doymaz, 2007; Guiné et al., 2011; Panchariya et al., 2002). Ces catégories de modèles prennent en compte la résistance externe au processus de transport de l'humidité entre le matériau et l'air atmosphérique, fournissent un plus grand nombre de résultats précis, donnent une meilleure prédiction des comportements du processus de séchage, et font moins d'hypothèses en raison de leur dépendance aux données expérimentales. D'autre part, les modèles théoriques font trop d'hypothèses, ce qui entraîne un

nombre considérable d'erreurs , ce qui limite leur utilisation dans la conception des séchoirs (Onwude et al., 2016).

Les modèles empiriques les plus largement appliqués pour la cinétique de séchage des fruits et légumes sont listés ci-dessous :

2.3.1.1. Modèle d'Aghbashlo et autres

Aghbashlo et al., (2009) ont proposé un modèle qui décrit efficacement la cinétique de séchage en couche mince des matériaux biologiques. Le modèle a été testé sur la carotte et comparé à d'autres modèles de séchage en couche mince disponibles dans la littérature. Il s'est avéré que le modèle décrivait le mieux le comportement de séchage de la carotte. Cependant, ce modèle n'a pas réussi à décrire plusieurs autres fruits et légumes. Le modèle contient 2 constantes sans dimension qui dépendent de la température absolue du système de séchage. Cependant, il n'y a pas de base théorique pour ce modèle (Eq. 4) :

$$MR = \frac{(M-M_e)}{(M_0-M_e)} = \exp\left(\frac{K_1 t}{1+K_2 t}\right) \quad (4)$$

Où K_1 et K_2 sont des constantes de séchage (min^{-1}).

2.3.1.2. Modèle de Wang et Singh

Ce modèle a été développé pour le séchage intermittent du riz brut. Ce modèle donne un bon ajustement aux données expérimentales. Cependant, ce modèle n'a pas d'interprétation physique ou théorique, d'où ses limites (Eq. 5).

$$MR = \frac{(M-M_e)}{(M_0-M_e)} = 1 + at + bt^2 \quad (5)$$

Où a (s^{-1}) et b (s^{-1}) sont des constantes de modèle sans dimension obtenues à partir des données expérimentales. Ce modèle a permis d'expliquer avec succès le comportement de séchage de la banane (Onwude et al., 2016).

2.3.1.3. Modèle de Diamante et autres

Diamante et autres ont proposé un nouveau modèle empirique pour le séchage des fruits. Les données expérimentales utilisées pour développer le modèle ont été obtenues à partir du séchage à l'air chaud de kiwis et d'abricots et ont utilisé une analyse de régression polynomiale pour déterminer les valeurs des constantes du modèle (Eq. 6) (Abbaspour-Gilandeh et al., 2019).

$$\ln(-\ln MR) = a + b(\ln t) + c(\ln t)^2 \quad (6)$$

Où a , b et c sont des constantes du modèle. Ce modèle s'est avéré approprié pour décrire la cinétique de séchage de l'abricot et du kiwi (Onwude et al., 2016).

2.3.1.4. Modèle de Weibull

Modèle de Weibull s'est avéré être l'un des modèles empiriques les plus adaptés et largement utilisés dans la littérature. Le modèle a en fait été dérivé de données expérimentales, sans signification physique ni contexte théorique. Le modèle de Weibull peut décrire au mieux la cinétique de séchage des fruits et des légumes tels que l'ail, les coings (Eq. 7) (**Keskes et al., 2020**).

$$MR = \frac{(M - M_e)}{(M_0 - M_e)} = \alpha - b \exp(-K_0 t^n) \quad (7)$$

Où α et b sont des constantes de modèle sans dimension et k_0 est une constante de séchage (**Keskes et al., 2020**).

2.3.1.5. Le modèle Thompson

Le modèle de Thompson est un modèle empirique obtenu à partir de données expérimentales en corrélant le temps de séchage en fonction du logarithme du taux d'humidité. Le modèle ne peut pas décrire avec succès le comportement de séchage de la plupart des fruits et légumes car il n'a pas de base théorique et manque d'interprétation physique. Cependant, le modèle s'est avéré approprié pour décrire la cinétique de séchage des pois verts et des myrtilles. Le modèle peut être exprimé comme suit (Eq. 8) :

$$t = a \ln(MR) + b[\ln(MR)]^2 \quad (8)$$

Où a et b sont des constantes empiriques sans dimension (**Onwude et al., 2016**).

2.3.1.6. Modèle de Silva et autres ou (Da Silva et autres)

Da Silva et al., (2013) ont proposé un modèle empirique pour la modélisation de la cinétique du pois chiche. Ce modèle montre une bonne adéquation pour décrire le transport de l'eau dans les grains du pois chiche en ajustant un ensemble de données expérimentales pour trouver l'équation du modèle (Eq. 9) :

$$MR = \frac{(M - M_e)}{(M_0 - M_e)} = \exp(-at - b\sqrt{t}) \quad (9)$$

Où a et b sont des paramètres d'ajustement. Ce modèle a été utilisé avec succès pour décrire la cinétique de séchage de la banane (**Onwude et al., 2016**).

2.3.1.7. Modèle Peleg

Le modèle Peleg n'a aucune signification physique ou interprétation théorique. Cependant, il n'a été appliqué avec succès que pour décrire le comportement de séchage de la banane (Eq. 10) :

$$MR = \frac{(M - M_e)}{(M_0 - M_e)} = 1 - \frac{t}{(a + bt)} \quad (10)$$

Où a et b sont des paramètres sans dimension du modèle (Nguyen, 2015).

2.3.1.8. Modèle de Lewis

Le modèle de Lewis est la solution générale de l'équation de Fick. Ce modèle ne considère que la diffusion basée sur la migration de l'eau. Le modèle simple de Lewis est exprimé comme suit (Eq. 11) :

$$MR = \exp(-kt) \quad (11)$$

Où : k est une constante de séchage, qui dépend de la température, l'humidité absolue et la vitesse de l'air ainsi du diamètre du produit utilisé (Uday et al., 2014).

2.3.1.9. Modèle de Page

Page (1949) a modifié le modèle de Lewis pour obtenir un modèle plus précis en ajoutant une constante sans dimension empirique (n) et à appliquer cette approche au séchage des grains (Eq. 12) (Erbay & Icier, 2010).

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (12)$$

Où : k et n sont des constantes de séchage qui dépendent de la température de l'air et de la nature du produit (Szadzińska et al., 2019).

2.3.1.10. Modèle de Henderson et Pabis

Henderson et Pabis (1962) ont amélioré le modèle du séchage en utilisant la deuxième loi de Fick de la diffusion et en l'appliquant au séchage des grains (Eq. 13) :

$$MR = a \exp(-kt) \quad (13)$$

Où : a et k sont des constantes de séchage (Djebli et al., 2020).

2.3.1.11. Modèle logarithmique

Chandra and Singh (1994) ont proposé un nouveau modèle dérivé du modèle de Henderson et Pabis avec l'addition d'un terme empirique (Eq. 14) :

$$MR = a \exp(-kt) + c \quad (14)$$

Où : k , a et c sont des constantes de séchage qui dépendent de la température de l'air et sa vitesse (Güler et al., 2020).

2.3.1.12. Modèle de Midilli

Midilli et al. (2002) ont proposé un nouveau modèle avec l'ajout d'un terme supplémentaire empirique intégrant le temps t au modèle Henderson et Pabis. Ce nouveau modèle est la combinaison d'un terme exponentiel et d'un terme linéaire. Ils ont appliqué ce nouveau modèle pour le séchage du pollen, de champignons, et de pistache pour différentes méthodes de séchage (Eq. 15) (Abbaspour-Gilandeh et al., 2019).

$$MR = a \exp(-kt^n) + bt \quad (15)$$

Où : b est une constante empirique (s^{-1}).

2.3.1.13. Modèle de Demir et al.

Demir et al. (2007) a proposé un nouveau modèle qui est semblable aux modèles d'Henderson et Pabis, modifié de Page-I, logarithmique, et de Midilli (Eq. 16) :

$$MR = a \exp(-kt^n) + bt \quad (16)$$

Ce modèle vient d'être proposé et appliqué au séchage d'olives vertes et a obtenu de bons résultats (Süfer et al., 2017) .

2.3.1.14. Modèle à deux paramètres

Henderson (1974) a proposé d'utiliser les deux premiers termes de la série de solution générale de la deuxième loi de Fick pour corriger les lacunes du modèle Henderson et Pabis. Le nouveau modèle s'écrit comme suit (Eq. 17) :

$$MR = a \exp(-Kt) + b \exp(-K' t) \quad (17)$$

Où : a, b sont définis comme l'indication de la forme et généralement nommés tels que les constantes du modèle (sans dimension), et K, K' sont les constantes cinétiques du séchage (s^{-1}) (Kaveh et al., 2020).

2.3.1.15. Modèle exponentiel à deux paramètres

Sharaf-Eldeen et al. (1980) ont modifié le modèle à deux paramètres en réduisant le nombre de constantes (3 au lieu de 4) en supprimant la constante b. Ils ont souligné que b dans le modèle à deux paramètres (Eq.17.) devait être égale à (1 - a) pour t = 0 et MR = 1 et ont donc proposé la modification suivante (Eq. 18) (Izli & Polat, 2019).

$$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat) \quad (18)$$

2.3.1.16. Modèle modifié de Henderson et Pabis

Karathanos (1999) a amélioré le modèle de Henderson et Pabis et le modèle à deux paramètres par l'ajout d'un troisième terme de la série de solution générale de la deuxième loi de Fick. Karathanos a souligné que le premier terme explique la dernière phase du séchage, le second terme explique la phase intermédiaire, et que le troisième terme explique le début de la courbe de séchage (MR) (Eq. 19.) :

$$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-K't) + c \exp(-K''t) \quad (19)$$

Où : a, b, et c sont des constantes (sans dimension), et K, K', et K'' sont les constantes cinétiques du séchage (s^{-1}). Ces constantes sont obtenues à partir des données expérimentales (Olabinjo & Adeniyani, 2020).

2.3.2. Méthodes de modélisation

Plusieurs méthodes ont été appliquées pour résoudre les problèmes liés à la prédiction et à la modélisation de systèmes non linéaires complexes. Ces méthodes sont particulièrement utiles lorsque ces systèmes sont difficiles à modéliser à l'aide de méthodes classiques. Ces méthodes sont : la régression linéaire multiple (RLM), méthodologie de la surface de réponse (MSR), support vecteur machine (SVM), les réseaux neuronaux artificiels (RNA), et Système d'Inférence Neuro-Flou Adaptatif (ANFIS ou SINFA).

Aujourd'hui, l'intelligence artificielle est également utilisée pour résoudre les problèmes liés à la modélisation des processus.

2.3.2.1. Régression linéaire multiple (RLM)

La régression linéaire multiple consiste à décrire les relations entre une variable dépendante et plusieurs variables appelées variables indépendantes, où n est le nombre de variables indépendantes. En effet, la régression linéaire multiple, qui est une méthode d'analyse de données, est couramment utilisée pour établir des modèles prédictifs des phénomènes observés en milieu aquatique. Cette méthode permet de dessiner une fonction polynomiale décrivant la relation entre les variables dépendantes et indépendantes et permet de déterminer les variables d'entrée les plus significatives. Le modèle peut être écrit comme dans l'équation suivante (Eq.20.) (Schmitt et al., 2001).

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_i x_i + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon(x) \quad (20)$$

Avec :

n : nombre de variables indépendants ;

$\varepsilon(x)$: random noise (error term or regression residual) ;

y : dépendant variable ;

$x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$: indépendants variables;

β_0 : ordonnée estimée à l'origine;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i, \dots, \beta_n$: modèle de coefficients.

2.3.2.2. Support Vecteur Machine (SVM)

La technique de modélisation SVM est connue pour sa simplicité, son adaptabilité à l'optimisation et sa capacité à gérer des paramètres complexes (Keskes et al., 2020). Les bases du SVM ont été développées par le biais de manière de Vapnik (Vapnik, 1999). Les SVM ont acquis une réputation grâce à de nombreuses caractéristiques prometteuses, telles que l'accélération des performances empiriques. SVM est une implémentation difficile d'une méthode de minimisation du hasard. La base de ce principe est le fait que le taux d'erreur de l'apprentissage automatique dans les données de test est limité par la somme de la formation du taux d'erreur et du terme dépendant de la dimension Vapnik -Chervonenkis (VC) (Tahraoui et al., 2021). Dans

la théorie des SVM, on peut utiliser un certain nombre de fonctions de noyau, comme les fonctions linéaires, polynomiales, gaussienne et sigmoïde. En outre, des fonctions de noyau spécifiques sont pertinentes pour des types d'informations distincts du système (**Tahraoui et al., 2022**).

2.3.2.3. Méthodologie de la surface de réponse (MSR)

Le principe de la MSR a été décrit comme un ensemble de méthodes mathématiques et statistiques permettant d'évaluer les relations entre un groupe de variables indépendantes et une ou plusieurs réponses. Pour obtenir des mesures adéquates et fiables des réponses d'intérêt, il est nécessaire de concevoir l'expérience. Normalement, la relation entre la réponse et les variables indépendantes ne peut pas être bien modélisée par une fonction linéaire. Un modèle qui incorpore la courbure est généralement nécessaire pour approcher la réponse dans la région proche de l'optimum, et, dans la plupart des cas, un modèle de second ordre est adéquat. On considère un plan composite central (PCC), qui est un outil de conception très efficace pour l'ajustement des modèles de second ordre. Cette technique est généralement utilisée lorsqu'il y a plusieurs paramètres d'entrée affectant la sortie (réponse) (**Tahraoui et al., 2021**).

Le nombre d'expériences est déterminé selon équation suivante (Eq. 21.) :

$$N = 2^k + 2k + c \quad (21)$$

Où k est le nombre de variables indépendantes, 2^k est le nombre d'expériences factorielles, $2k$ est le nombre d'expériences axiales, et c est le nombre d'expériences au point central.

Le modèle utilisé pour prédire les réponses et décrire la relation entre les variables indépendantes était le polynôme du second ordre (Eq. 22.) :

$$Y = B_0 + \sum_i^k B_i X_i + \sum_i^k B_{ii} X_i^2 + \sum_{ij}^k B_{ij} X_i X_j + E \quad (22)$$

Où, Y représente les fonctions de réponse (dans notre cas, c'est est la force de compression), B_0 est un coefficient constant ; B_i , B_{ii} , et B_{ij} sont les coefficients des termes linéaires, quadratiques et interactifs, respectivement (**Tahraoui et al., 2021**).

2.3.2.4. Réseau de neurones artificiels (RNA)

L'idée des RNA s'inspire de la manière dont les neurones biologiques traitent l'information. Ce concept est utilisé pour réaliser des simulations logicielles pour les processus massivement parallèles, qui impliquent des éléments de traitement qui sont interconnectés dans l'architecture du réseau. L'apprentissage dans le cerveau humain se produit dans un réseau de neurones qui sont interconnectés par des axones, des synapses et des dendrites. Une résistance synaptique variable affecte la circulation de l'information entre deux neurones biologiques. Le neurone artificiel reçoit des entrées qui sont analogues aux impulsions électrochimiques que les dendrites des neurones biologiques reçoivent d'autres neurones. Par conséquent, l'ANN peut être considéré comme un réseau de neurones, qui sont des éléments de traitement et des connexions

pondérées/des connexions de pondération. Les connexions et les pondérations sont analogues aux axones et aux synapses du cerveau humain, respectivement. En simulant la fonction analytique du cerveau humain, le RNA a une capacité intrinsèque à d'apprendre et de reconnaître par expérience des relations hautement non linéaires et complexes (**Keskes et al., 2020**).

Les RNA sont des modèles empiriques non linéaires. En général, ils sont composés de nombreuses unités (neurones) fonctionnant en parallèle. Le fonctionnement de ce réseau est largement déterminé par les connexions entre ces éléments. Les neurones sont répartis sur trois couches : la couche d'entrée, la couche de sortie et la couche cachée. Le nombre de neurones de la couche d'entrée est lié au nombre de variables d'entrée, et le nombre de neurones dans la couche de sortie est le même que le nombre de variables de sortie. Régression neuronale optimisée par l'architecture du réseau est basée sur la répartition de la base de données en trois ensembles (apprentissage, test et validation), les fonctions de transfert, le nombre de neurones dans la couche cachée et l'algorithme d'apprentissage (**Bousselma et al., 2021**).

La procédure d'ajustement des poids est appelée rétropropagation. Une procédure simplifiée pour le processus d'apprentissage des ANN est résumée selon les étapes suivantes :

Étape 1 : Fournir au réseau des données d'entraînement constituées de variables d'entrée et de sorties cibles.

Étape 2 : Évaluation de la concordance entre la sortie du réseau avec les sorties cibles.

Étape 3 : adaptation des poids de connexion entre les neurones afin que le réseau produise de meilleures approximations des sorties cibles souhaitées.

Étape 4 : Continuer le processus d'ajustement des poids jusqu'à ce que le niveau de précision souhaité soit atteint (**Keskes et al., 2020**).

La modélisation et la simulation d'un processus de séchage passent par l'obtention de données sur le comportement d'un processus de séchage sans faire d'expériences pratiques (**Bousselma et al., 2021**).

2.3.2.5. Système d'Inférence Neuro-Flou Adaptatif (SINFA)

SINFA a été développé par Jang. Il se compose de six éléments clés : données d'entrée et de sortie, unité de division des données, unité d'algorithme, système de génération floue, système d'inférence floue, et neurone de réseau adaptatif représentant le système flou. Après avoir divisé les données de traitement, chaque ensemble de données de formation et de validation est affecté aux clusters formés par l'algorithme. Chaque algorithme est formé indépendamment avec la formation et la validation ensemble par ANFIS pour obtenir le système d'inférence floue optimal. De plus, ANFIS est composé de 5 couches - chaque couche peut inclure différents nœuds (**Bouhedda et al., 2019; Bousselma et al., 2021**).

Couche 1 : chaque neurone calcule le degré d'appartenance des entrées X et Y aux différents ensembles flous. Les paramètres inhérents à ces ensembles sont appelés prémisses paramètres du réseau.

Couche 2 : est utilisée pour calculer le degré d'activation des locaux. Chaque neurone de cette couche reçoit les sorties des neurones de fuzzification précédents et calcule son activation. La conjonction des antécédents est effectuée avec l'opérateur produit, qui utilise la contrainte de dérivabilité pour déployer les algorithmes d'apprentissage. Pour déployer les algorithmes d'apprentissage. Chaque nœud effectue une T-norme floue.

Couche 3 : chaque neurone calcule le degré de vérité normalisé d'une règle floue donnée. La valeur obtenue représente la contribution de la règle floue au résultat final.

Couche 4 : Chaque neurone i de cette couche est connecté à un neurone de normalisation correspondant aux entrées initiales du réseau. Le lien dans cette couche remplit le rôle de la partie conséquence des règles ; chaque nœud calcule le degré de vérité standard d'une règle floue donnée. La valeur obtenue représente la contribution de la règle floue au résultat final.

Couche 5 : C'est la couche de sortie comprenant un seul neurone qui fournit la sortie d'ANFIS en calculant la somme des sorties de tous les neurones de sortie (**Tahraoui et al., 2021**).

Les RNA et les modèles de SINFS sont des méthodes basées sur l'apprentissage automatique, qui appliquent des connaissances pour prédire les résultats de systèmes complexes tels que la technologie de séchage (**Bousselma et al., 2021**). Des études ont été rapportées sur la prédiction du rapport d'humidité et du temps de séchage pour divers produits agricoles, tels que les tranches d'abricots (**Satorabi et al., 2021**), les coings (**Abbaspour-Gilandeh et al., 2020**), les oignons (**Kaveh et al., 2021**), le mucilage des graines de basilic (**Amini et al., 2021**), les pois verts (**Kaveh et al., 2020**), les pommes de terre (**Kaveh et al., 2018**), et les mûres blanches (**Jahedi Rad et al., 2018**). Cependant, il existe encore très peu de données sur la prédiction du temps de séchage des tranches d'abricot par SINFA et algorithme génétique-réseau neuronal artificiel (AG-RNA) (**Bousselma et al., 2021**).

ETUDE
EXPERIMENTALE

Chapitre 1

Caractérisation

morphologique et physico-

chimique d'abricot

Résumé

Ce travail consiste en une étude de caractérisation du fruit de *Prunus aremiaca* L. dans la région d'Algérie (Bouzina, Batna) sur le plan morphologique et physicochimique. Les résultats morphologiques du fruit montrent qu'il est de poids, longueur et largeur moyenne. Sur le plan physicochimique, les résultats du fruit montrent qu'il est de nature un peu acide, riche en sucres totaux et en saccharose mais faible en sucres réducteurs.

La variation des différents paramètres morphologiques et physico-chimiques dans le fruit montre que l'échantillon de la région de Bouzina est meilleur vu sa composition relativement élevée en sucres totaux.

Mots clés : *Prunus aremiaca* L., morphologique, physicochimique, sucres totaux, saccharose, sucres réducteurs.

1.1. Introduction

L'abricot (*Prunus armeniaca* L.) est inclus dans le genre prunus de la sous-famille des Prunoideae dans la famille des Rosaceae. Il est principalement distribué en Asie centrale, en Asie occidentale, la région méditerranéenne et la Chine occidentale (**Kayran & Doymaz, 2017**).

L'abricotier est une espèce assez diploïde, requiert un climat méditerranéen chaud, a besoin d'hiver froid et humide pour arrêter sa dormance et d'été chaud et sec (**Grimplet, 2004**). Le fruit de l'abricot (*Prunus armeniaca* L.) est une drupe (un fruit à noyau) dont la taille varie de 1,5 à 2,5 cm de diamètre (**Satorabi et al., 2021**). Il est caractérisé par une peau veloutée, une chair charnue, peu juteuse, sucrée, parfumée, de couleur jaune orangée. Il se sépare aisément en suivant le sillon médian. Le noyau s'enlève facilement de la chair. Fruit fragile, sensible aux manipulations et aux transports. Le degré de maturité de l'abricot est apprécié par le parfum et la souplesse du fruit. La couleur n'est pas un critère fiable, car certaines variétés "rougissent" bien avant d'être mûres. Le fruit pour la consommation en frais est très fragile et doit être cueilli deux à quatre jours avant maturité et très tôt le matin ou le soir. Le fruit supporte une vingtaine de jours de conservation à - 0,5°C et 85 % d'humidité. Selon **FAO (2019)**, la production mondiale totale d'abricots est plus de 3,5 millions de tonnes de production annuelle. La Turquie, l'Iran, l'Ouzbékistan, l'Algérie et l'Italie sont les principaux producteurs d'abricots. L'abricot est un fruit climactérique et saisonnier dont la durée de conservation est très courte en raison, notamment, d'un taux de respiration élevé et d'un processus de maturation rapide. Sur le plan nutritionnel, c'est une riche source de sucres, de fibres, de minéraux, de substances phytochimiques bioactives et de vitamines comme A, C, thiamine, riboflavine, niacine et acide pantothénique. Parmi les composés phytochimiques, les phénoliques, les caroténoïdes et les antioxydants sont importants pour leur valeur biologique, qui contribuent à son goût, sa couleur

et ses valeurs nutritives. Les caroténoïdes et les polyphénols de l'abricot suscitent un intérêt considérable. Les fruits de l'abricot sont de bonnes sources de caroténoïdes pro- vitamine A, et 250 g de fruits frais ou 30 g de fruits secs fournissent 100 % de l'apport journalier recommandé. Les caroténoïdes possèdent non seulement des fonctions biologiques de promotion de la croissance, du développement embryonnaire et de la fonction visuelle, mais aussi un effet protecteur contre le cancer (Ali et al., 2011; Huang et al., 2013). L'abricot est connu comme un fruit favorable à la santé humaine grâce à sa capacité antioxydante élevée, ses fonctions anti-inflammatoires et immunostimulantes qui sont attribuées au contenu de nombreux composés phénoliques différents (Karaat & Serçe, 2019). L'eau est le composant majeur de l'abricot frais. Il renferme en moyenne 85,3-85,6 % (Noui, 2016). L'abricot est consommé soit à l'état frais, soit transformé en jus, confiture, compote, gelée et abricot sec. Dans cette partie nous avons étudié les paramètres morphologiques et les analyses physico-chimiques d'abricot, variété Rosé de Bouzina, de la wilaya de Batna.

1.2. Matériel et méthodes

Notre travail s'est déroulé au sein du laboratoire de LAPAPEZA (Laboratoire d'Amélioration des Productions Agricoles et Protection des Ecosystèmes dans les Zones Arides) et LATPPÉM (Laboratoire d'Amélioration des Techniques de Protection Phytosanitaire dans les Écosystèmes de Montagne), université Batna 1, Institut des sciences vétérinaires et sciences agronomiques, Algérie.

1.2.1. Matériel végétal

1.2.1.1. Description et choix de variété d'abricot

La variété d'abricot retenue dans notre étude est très répandue (variété de population locale ; Rosé de Manaa), elle est de forme sphérique, plus ou moins aplatie sur les deux pôles. Elle présente une belle coloration jaune et rouge, de très bonne qualité gustative. La chair est ferme, juteuse et parfumée.

Le choix de cette variété se justifie par :

- Son abondance au niveau de la région des Aurès (Daïra de Bouzina, Wilaya de Batna, Algérie) ;
- La disponibilité d'abricot sur le marché en quantité ;
- Sa composition biochimique (sucres, polyphénols, fibres et vitamines) ;
- L'adaptation de la variété à la transformation.



Figure 1 : *Prunus armeniaca* L. (photo personnelle).

1.2.1.2. Prélèvement des échantillons

L'échantillonnage se fait sur deux à trois parcelles homogènes dans chacune d'elles. Les fruits sont choisis au hasard dans plusieurs grappes de hauteurs et d'orientations différentes, et les abricots sont récoltés à pleine maturité (juillet) et stockés en chambre froide à 4°C.

1.3. Méthode d'analyse

1.3.1. Caractérisation morphologique d'abricot

Les caractéristiques morphologiques d'abricot ont été réalisées sur dix fruits prélevés au hasard, les valeurs ont été exprimées en moyenne \pm écart type.

1.3.1.1. Dimensions des abricots

Les dimensions linéaires (Longueur et largeur) des abricots ont été mesurées au moyen d'un pied à coulisse digital.

1.3.1.2. Poids des abricots (P_a)

Les abricots de variété de Rosé de Manaa ont été pesés individuellement à l'aide d'une balance analytique ($\pm 0,01$ g).

1.3.2. Composition biochimique d'abricot

1.3.2.1. Détermination de la teneur en eau et matière sèche

Principe

La teneur en eau est la différence entre le poids de l'échantillon avant et après la dessiccation lorsque leur poids soit constant.

Mode opératoire

- Dans des capsules tarées, peser 2g d'abricot avec 5 répétitions ;
- Introduire les capsules dans l'étuve à $103 \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu' à l'obtention d'un poids constant ;
- Laisser refroidissent les capsules dans un dessiccateur avant de les peser.

Expression des résultats

La teneur en eau est déterminée selon la formule suivante :

$$H (\%) = \frac{(M1-M2)}{P} \times 100 \quad (1)$$

Soit :

H % : Teneur en eau ou l'humidité ;

M 1 : Masse initiale « capsule + matière fraîche » en g ;

M 2 : Masse finale « capsule + matière sèche » en g ;

P : Masse de la prise d'essai en g.

La teneur en matière sèche est calculée par la formule suivante :

$$\text{Matière sèche (\%)} = 100 - H\% \quad (2)$$

1.3.2.2. pH (AFNOR NF V 50-107)

Principe

Détermination en unités de pH de la différence de potentiel existant entre deux électrodes en verre plongées dans une solution aqueuse d'extrait d'abricot broyé.

Mode opératoire

- Couper en petits morceaux une partie de l'échantillon, éliminer les noyaux et les pédoncules avec 3 répétitions ;
- Placer le produit dans un bécher et y ajouter trois fois son volume d'eau distillée ;
- Broyer ensuite le mélange obtenu dans un mortier et procéder à la détermination du Ph (Type, INOLAB) en prenant soin que l'électrode soit complètement immergée dans la solution.

1.3.2.3. Détermination d'acidité titrable AT (AFNOR NF V 05- 108)

Titration de l'acidité d'une solution aqueuse d'abricot avec une solution d'hydroxyde de sodium en présence de phénolphthaléine comme indicateur de coloration.

Mode opératoire

- Peser à 0,01g près au moins 25 g d'abricots broyés avec 3 répétitions ;
- Placer l'échantillon dans une fiole conique avec 50 ml d'eau distillée chaude récemment bouillie et refroidie, puis mélanger jusqu' à l'obtention d'un liquide homogène ;
- Adapter un réfrigérant à reflux à la fiole conique puis chauffer le contenu au bain-marie pendant 30 mn ;
- Refroidir, transvaser quantitativement le contenu de la fiole conique dans une fiole jaugée de 250 ml et complété jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée récemment bouillie et refroidie puis filtrer le mélange ;
- Prélever à la pipette 25 ml du filtrat et les verser dans un bêcher ;

-Ajouter 0,25 à 0,5 ml de phénolphtaléine et tout en agitant, titrer avec de la solution d'hydroxyde de sodium 0,1 N jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistant pendant 30 secondes.

Expression des résultats

L'acidité titrable est exprimée en grammes d'acide malique pour 100 g du produit :

$$AT (\%) = \frac{250 \times V_1 \times N \times 100}{V_0 \times M} \times 0,134 \quad (3)$$

Soit :

M : Masse en g de produit prélevé (25 g) ;

V_0 : Volume en ml de la prise d'essai (25 ml) ;

V_1 : Volume en ml de NaOH épuisé pendant la titration ;

N : Normalité de NaOH utilisée pour le titrage (0,1 N) ;

0,134 : Facteur de conversion de l'acidité titrable en équivalent d'acide malique.

1.3.2.4. Détermination du taux des solides solubles (TSS %) (AFNOR NF V 05-109)

L'indice réfractométrie est basé sur la réfraction (Type, ABBE) de la lumière, les réfractomètres donnent par simple lecture l'extrait sec soluble d'un liquide sucré pour une température déterminée.

Mode opératoire

- Extraire le jus de l'abricot par pressage puis le filtrer, avec 3 répétitions ;
- Placer une goutte de jus sur la surface du prisme de réfractomètre, type ABBE ;
- Lire directement la valeur indiquée.

1.3.2.5. Détermination de teneur en sucres totaux (Méthode du Dubois)

Principe

La méthode du Dubois permet de doser les oses en utilisant le phénol et l'acide sulfurique concentré. En présence de ces deux réactifs, les oses donnent une couleur jaune crème, dont l'intensité est proportionnelle à la concentration des sucres totaux (**Linden, 1984**).

Mode opératoire

- L'extraction des sucres : 1 g de matière fraîche dans 50 ml d'eau distillée, porter à 70°C pendant 30 min dans un bain marie, puis filtration ;
- Dans des tubes à essai, on met :
 - 0,5 ml de la solution à doser ;
 - 0,5 ml de la solution de phénol à 5 % ;
 - 3 ml d'acide sulfurique concentré ;
- Mélanger bien le milieu, puis l'introduire dans un bain marie à 70°C pendant 5 min ;
- Laisser refroidir pendant 15 min à l'obscurité et à la température ambiante ;

- La lecture se fait dans un spectrophotomètre (UV-1600PC) à une longueur d'onde égale à 490 nm, avec 3 répétitions (voir annexe 2, figure 1).

1.3.2.6. Détermination de teneur en sucres réducteurs

Principe

Les sucres solubles ont été extraits de jus de fruit puis dosés selon la méthode colorimétrique au DNS (l'acide 3,5-dinitrosalicylique) de Fischer et Stein (1961), selon le principe fondé sur le fait qu'en milieu alcalin et à chaud, le DNS réagit avec les sucres libres et passe de sa forme oxydée jaune à sa forme orangée présentant un maximum d'absorption à 540 nm. La coloration développée est proportionnelle à la concentration en sucres du milieu (Miller, 1959).

Mode opératoire

- L'extraction des sucres : 1 g de matière dans 50 ml d'eau distillée, porter à 70°C pendant 30 min dans un bain marie, puis filtration ;

- Dans des tubes à essai introduire :

* 1 ml d'extrait de l'abricot ;

* En même temps, une série de solutions d'étalonnage de concentrations comprises entre 0,5 - 2 mg/ml est préparé dans des tubes à essai, à partir d'une solution-mère de glucose à 2% ;

*Ajouter à la gamme étalon et les tubes d'échantillon : 1 ml de solution de DNS ;

*Porter au bain marie à 100°C pendant 10 min ; puis refroidir immédiatement dans un bain de glace ;

* Ajouter 10 ml d'eau distillée dans chaque tube à essai et lire la densité à 540 nm, à l'aide d'un spectrophotomètre UV visible (UV-1600PC), avec 3 répétitions (voir annexe 2, figure 2).

1.3.2.7. Détermination de teneur en saccharose

La teneur en saccharose est obtenue par la différence entre les teneurs en sucres totaux et les sucres réducteurs présents dans l'échantillon (Noui, 2016).

$$\text{Saccharose (\%)} = \text{Sucres totaux (\%)} - \text{Sucres réducteurs (\%)} \quad (4)$$

1.4. Résultats et discussion

1.4.1. Caractéristiques morphologiques de l'abricot

Les résultats de certaines propriétés morphologiques d'abricot variété Rosé de Manaa sont résumés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Propriétés physiques d'abricot variété Rosé de Manaa.

Paramètres	Valeur moyenne
Largeur (mm)	33,96 ± 1,91 ^a
Longueur (mm)	33,49 ± 2,13 ^a
Poids d'abricot entier (g)	19,05 ± 3,64 ^a
Poids du noyau (g)	2,28 ± 0,30 ^a
Poids de la pulpe (g)	16,77 ± 0,30 ^a
Ratio pulpe / Noyau (%)	7,35 ± 0,30 ^a

1.4.1.1. Dimensions d'abricot

D'après les résultats obtenus, la largeur et la longueur d'abricot sont respectivement 33,96 mm, 33,49 mm, ces résultats sont proches à celui-ceux donnés par **Noui (2016)** et **Ali et al. (2011)**, qui donnent une longueur comprise entre 29,42 à 45,49 mm, et une largeur comprise entre 24,91 à 38,90 mm pour les variétés étudiées de Rosé de Manaa et les 6 variétés cultivées en Pakistan.

1.4.1.2. Poids d'abricot (P_p)

Les résultats obtenus montrent que le poid moyen d'abricot entier et de la pulpe est de 19,054 g et 16,70 g respectivement, ils sont très inférieurs à celui-ceux donnés par **Noui (2016)**, qui donne des valeurs de 32,22 g et 29,33 g respectivement par la même variété de Rosé de Manaa, Cette différence s'explique par les conditions agro-climatiques. Mais ces résultats se situent dans l'intervalle donné par **Ali et al. (2011)**, qui donne un poids entre 11,21 à 33,54 g pour les 6 variétés cultivées au Pakistan.

Le ratio pulpe / noyau trouvé pour la variété d'abricot Rosé de Manaa est de 07,35 %, il est comparable à celui mentionné par **Ali et al. (2011)** et **Noui (2016)**, qui est de 8,71 à 14,15 % pour les 6 variétés cultivées au Pakistan et la variété de rosé de Manaa, respectivement.

1.4.2. Caractérisation physicochimique de l'abricot

Les caractéristiques physicochimiques de la variété d'abricot Rosé de Manaa étudiée sont mentionnées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques d'abricot variété Rosé de Manaa.

Paramètres	Valeur moyenne
Eau (%) ¹	85,93 ± 0,77 ^a
Matière sèche (%) ¹	14,06 ± 0,77 ^a
pH	4,13 ± 0,01 ^a
AT (%) ¹	3,77 ± 0,57 ^a
TSS (%) ¹	14,00 ± 0,01 ^a
Sucres totaux (%) ¹	10,74 ± 0,24 ^a
Sucres réducteurs (%) ¹	3,33 ± 0,81 ^a
Saccharose (%) ¹	7,03 ± 1,97 ^a

¹:g/100 g du poids frais.

La teneur en eau du fruit est de 85,93 % et le reste de la matière sèche (14,067 %). Ce résultat est le même trouvé par **Noui (2016)**, qui donne des valeurs de 85,31 et 14,69 % teneurs en eau et matière sèche respectivement. En comparant nos résultats avec les valeurs trouvées par **Madrau et al. (2009)** sur le même fruit, qui se situe dans l'intervalle (83,91- 84,29 % teneur en eau), on constate qu'ils sont comparables. Cette variation de la teneur en eau peut être due aussi aux différentes conditions environnementales, telles que la disponibilité en eau, l'ensoleillement et l'exposition au vent, qui contribuent à la dessiccation des fruits (**Ruiz-Rodríguez et al., 2011**).

La teneur en eau est importante pour déterminer la qualité de conservation et un indicateur de fraîcheur de tout produit alimentaire. Par conséquent, une teneur en eau plus élevée fait que le fruit se détériore plus tôt et vice-versa. Elle détermine également l'aptitude du produit à être utilisé dans différents produits à valeur ajoutée (séchage, consommation fraîche ou transformation) (**Ali et al., 2011**).

Le pH d'abricot est de 4,13, cette valeur est supérieure à celles-celles trouvées par **Álvarez-Hernández et al. (2020)** et **Noui (2016)**, qui donnent des valeurs de 3,4 et 3,77 respectivement pour les deux variétés : Rosé de Manaa et Mirlo naranja, cultivées en Algérie et sud d'Espagne, respectivement. Cette différence est due à la variété utilisée et aux conditions climatiques.

La teneur en acide des fruits est un paramètre de qualité important et un facteur déterminant du goût des fruits. Les acides sont également des constituants alimentaires et sont nécessaires à l'organisme en quantités infimes. Leur rôle fondamental est de maintenir l'équilibre acide-base dans les systèmes de fluides corporels (**Hasib et al., 2002**). L'AT indique la concentration d'acides organiques présents dans le fruit. L'AT d'abricot frais est de 3,77 %, cette valeur est supérieure à celles trouvées par **Gecer et al. (2020)**, qui donnent des valeurs comprises entre 1,09 et 1,89 % pour les deux variétés d'abricots sauvages et Aprikoz, cultivées

en Turquie, respectivement. Cette différence est due à la variété d'abricot utilisée, aux conditions climatiques et au stade de maturation du fruit.

Le taux de solides solubles (TSS) est de 14,00 % , ce résultat est supérieur à ce donné par **Noui (2016)**, qui signale une valeur de 13,60 % pour la variété Rosée cultivée en Algérie, et en accord avec ceux données par **Ali et al. (2011)**, qui signale un intervalle de 12 ,67 à 20 % pour certaines variétés cultivées au Pakistan et inférieur à ceux donnés par **Marvdashti et al. (2020)**, qui signalent un intervalle de 15 à 25,40 % pour certaines variétés cultivées en Iran.

Les sucres sont des constituants alimentaires importants et une source instantanée d'énergie pour les activités du corps. Un niveau élevé de sucre dans un fruit sert également d'indice de maturité. L'abricot contient des quantités importantes de sucres lorsqu'il est mûr et se concentre davantage pendant le stockage ou le séchage et la déshydratation (**Ali et al., 2011**).

Le résultat des sucres totaux d'abricot frais obtenu est de 10,74 g/100 g PF, cette valeur est supérieure à celle-ci trouvée par **Noui (2016)**, qui cité une valeur de 7,09 g/100 g PF pour la variété de Rosé de Manaa, cultivée en Algérie, Par contre cette valeur trouvée est très inférieure à celles trouvées par **Ali et al. (2011)**, qui signalent des valeurs comprises entre 56,78 et 64,90 g/100 g PF pour les deux variétés de Mirmalik et Habi, cultivées en zones du Nord du Pakistan, respectivement.

Les sucres réducteurs d'abricot frais est de 3,33 g/100 g PF, cette valeur est supérieure à celle-ci trouvée par **Noui (2016)**, qui donne une valeur de 2,09 g/100 g PF pour la variété de Rosé de Manaa, cultivée en Algérie, cette différence est due aux conditions climatiques et au stade de maturation du fruit.

Chapitre 2

Étude de procédé de
séchage d'abricot par
microonde

Résumé

La teneur en humidité est une caractéristique de qualité importante qui influence directement sur la conservation des fruits et des légumes. L'objectif principal de la présente étude était d'estimer le comportement de séchage des abricots traités (*Prunus armeniaca* L.) par solutions de : saccharose, NaCl et bisulfite de sodium séchés par microonde à différentes puissances (200, 400 et 800 W) et à intervalle de temps de (570, 480 et 360 s, respectivement). L'imprégnation des abricots dans une solution salée (6 %) est considérée comme méthode de prétraitement innovante et peu coûteuse et donne le temps de séchage le plus court par rapport aux autres traitements.

Mots clés : Humidité, fruit, séchage, saccharose, NaCl, microonde.

2.1. Introduction

En raison de la forte teneur en humidité (85 % de base humide) d'abricot et de sa sensibilité à la détérioration pendant le stockage, il est difficile de stocker des abricots frais.

Pour augmenter la durée de conservation de ce fruit et limiter les pertes de récolte, on a plusieurs méthodes de conservation telles que : la réfrigération, la congélation, la surgélation, la lyophilisation, l'appertisation, conditionnement sous vide et le séchage. Le séchage est considéré par l'homme comme la méthode de conservation des aliments probablement la plus importante et la plus ancienne. L'objectif principal du séchage des produits agricoles est la réduction de la teneur en humidité à un niveau qui permettent un stockage sûr sur une longue période. En outre, il entraîne une réduction substantielle du poids et du volume, réduisant ainsi les coûts d'emballage, de stockage et de transport (**Sadadou et al., 2021**). Il implique un processus thermique complexe dans lequel se produisent des transferts simultanés de chaleur et de masse (**Ojediran et al., 2020**). Il s'agit d'un processus de réduction de l'humidité dans les produits agricoles afin d'en prolonger la durée de conservation (**Abbaspour-Gilandeh et al., 2020**). Les trois (3) principaux processus de séchage basés sur le transfert de chaleur sont ; la conduction, la convection et le rayonnement (**Liu et al., 2020**). Dans la technique de séchage des produits agricoles, on a plusieurs types de séchage comprennent ; le séchage au soleil, le séchage convectif à air chaud, le séchage sous vide, le séchage par infrarouge et leurs mélanges et le séchage par micro-ondes. Le séchage par micro-ondes est une méthode de séchage rapide qui chauffe simultanément la surface intérieure et extérieure du milieu (**Ling & Sun, 2021**).

Le chauffage des aliments par micro-ondes résulte de la conversion de l'énergie électromagnétique (EM) en énergie thermique par une agitation accrue des molécules dipolaires (principalement l'eau dans les aliments) et des ions chargés (par exemple les sels dissous) lorsqu'ils sont exposés aux micro-ondes. La pénétration directe des micro-ondes dans les aliments permet de les chauffer beaucoup plus rapidement que les méthodes conventionnelles

telles que les fours de cuisson qui reposent sur le chauffage de la surface et la conduction thermique subséquente dans les aliments. Les micro-ondes sont des ondes électromagnétiques dont la fréquence se situe entre 300 et 300 000 MHz et dont la longueur d'onde correspondante est de 1 et 0,001 m, respectivement. La conversion de l'énergie électromagnétique en énergie thermique est essentielle au fonctionnement des fours à micro-ondes entre l'énergie perdue par les champs et l'énergie thermique gagnée par le matériau exposé (**Erle et al., 2020**).

L'étude du comportement de séchage des données de cinétiques au four à microondes a été rapportée dans la littérature pour l'aubépine (**Amiri Chayjan et al., 2015**), des feuilles d'épinard (**Alibas, 2006**), le raisin sultana (**Karaaslan et al., 2017**), des moules (**Kipcak, 2017**), la moitié d'abricot (**Horuz et al., 2017a**) et le riz (**Ling & Sun, 2021**). Les fruits et légumes sont généralement soumis à différents prétraitements tels que le blanchiment, traitement par microonde, ultrasons, champ pulsé, la déshydratation osmotique dans une solution de saccharose et une solution salée, et l'immersion dans une solution de bisulfite de sodium. L'objectif principal d'une étape de prétraitement est d'induire des changements structurels dans l'architecture moléculaire de la biomasse et des modifications dans sa composition chimique, afin d'améliorer la bioconversion. Du point de vue de la viabilité économique et technologique, une méthode de prétraitement doit maximiser les sucres produits et minimiser les réactions de minéralisation, les produits chimiques et les besoins en électricité/chaleur (**Taheri et al., 2021**). Elles jouent un rôle essentiel dans la stabilisation des carotènes, la préservation de la couleur et le retardement du produit des réactions de Maillard. Plusieurs recherches ont porté sur le séchage de demi-couches et de couches minces d'abricots traités dans des solutions (saccharose et sulfure) ou non traités.

La diffusivité effective de l'humidité d'un matériau caractérise sa propriété intrinsèque de transfert de masse de l'humidité dans l'échantillon. Le mécanisme de déplacement/élimination de l'humidité de l'intérieur vers la surface de l'échantillon pendant l'opération aux micro-ondes était uniquement dû à la diffusivité comme expliqué par la deuxième loi de Fick. La diffusivité effective de l'humidité (qui est affectée par composition, la teneur en humidité, la température et la porosité du matériau) a été utilisée pour expliquer le mécanisme de déplacement de l'humidité pendant le processus de séchage (**Pillai et al., 2013**).

L'objectif de cette partie est tout d'abord : (1) de suivre la cinétique de séchage d'abricot entier prétraité par solutions de : saccharose, NaCl et bisulfite de sodium séché par microonde à différentes puissances (200, 400 et 800 W), (2) de calculer la diffusivité effective d'humidité et (3) déterminer les valeurs d'énergie d'activation d'abricot traité séché par microonde à différentes puissances (200, 400 et 800 W).

2.2. Matériel et méthodes

2.2.1. Méthode de préparation d'abricot

2.2.1.1. Prétraitement d'abricot

L'abricot généralement subit des prétraitements tels que : la déshydratation osmotique dans une solution de saccharose et solution de NaCl et immersion dans une solution de bisulfite de sodium avant le séchage par micro-onde. Ils sont couramment utilisés en raison de leurs propriétés antioxydantes, antibactériennes, antifongiques et anti-brunissement (**Xanthopoulos et al., 2019**). Ils jouent un rôle dans la stabilisation des carotènes, la préservation de la couleur et le retardement le produit des réactions de Maillard.

- **Préparation des échantillons**

Avant d'être séché, le fruit doit subir plusieurs prétraitements :

- Lavage de l'abricot et l'élimination du noyau sans ouvrir le fruit (abricot entier) ;
- Déshydratation osmotique : trempage des échantillons d'abricots entiers dans un sirop de saccharose à une concentration de 60° Brix et d'autres échantillons dans une solution de NaCl à une concentration de 6 % pendant 18 h à température ambiante, puis rinçage à l'eau chaude et froide pour éliminer le saccharose, le sel et inhiber les réactions biochimiques ;
- Immersion des échantillons d'abricots entiers dans une solution de bisulfite de sodium (NaHSO_3). Le bisulfite de sodium est un stabilisateur microbien, protège contre les moisissures et les insectes, anti-brunissement enzymatique : la protection contre les oxydants sert à stabiliser la couleur et le goût, le traitement s'effectue en immergeant les abricots dénoyautés pendant 30 minutes dans une solution de bisulfite de sodium à une concentration de 6 %, puis en rinçant les abricots dénoyautés avec l'eau distillée pour éliminer l'excès de bisulfite de sodium.
- Egouttage des fruits traités.

2.2.2. Séchage des abricots

Les abricots traités sont séchés par micro-onde à différentes puissances (200, 400 et 800 W) (figure 1).

2.2.2.1. Séchage par microonde

Principe

Le séchage est effectué par cycle (30 secs ON / 30 secs OFF), chaque cycle correspondant à l'application des micro-ondes à une puissance donnée pendant 30 secs suivis 30 secs off. À la fin de chaque cycle, les produits sont pesés par une balance de précision.

La cinétique de séchage est ainsi déterminée par l'évolution de la masse des produits après chaque cycle. Etant donné l'hétérogénéité du chauffage par micro-onde, et on détermine la valeur moyenne de 10 répétitions (**Al Haddad, 2007**).



Figure 1 : Micro-onde type LJ., Algérie (Photo personnelle).

➤ **Mode opératoire**

- Nous avons pris 10 verres de montre, préalablement nettoyés, séchés et refroidis dans un dessiccateur ;
- À l'intérieur de verre de montre nous avons mis des abricots dénoyautés ($p = 16$ g) ;
- Les verres de montre contenant les échantillons sont ensuite placés à la micro-onde ;
- La cinétique de séchage par micro-onde est déterminée par trois puissances différentes (200, 400 et 800 W) ;
- Après 30 secs de séchage, les verres de montre sont retirés de micro-onde ;
- Nous avons pesé chaque échantillon avec une balance de précision ;
- Cette opération est répétée régulièrement pour chaque intervalle de 30 secondes ;
- Le séchage est arrêté lorsque l'humidité résiduelle du produit est au voisinage de 5 % (figure 2).



Figure 2 : Séchage par microonde des échantillons de *Prunus armeniaca* L. (photo personnelle).

2.2.2.2. Courbes représentant la cinétique de séchage

Les abricots entiers traités sont séchés par micro-ondes à différentes puissances (200, 400 et 800 W).

Le rapport d'humidité (MR) des abricots au cours des expériences de séchage a été calculé à l'aide de l'équation 1 :

$$MR = (M - M_e) / (M_0 - M_e) \quad (1)$$

Où :

M = teneur en humidité à base humide à tout moment t ;

M₀ = teneur initiale en humidité à base humide de l'échantillon ;

M_e = teneur en humidité à l'équilibre ;

Les valeurs de M_e sont relativement faibles par rapport à celles de M ou M₀, l'erreur impliquée dans la simplification est négligeable (**Tunckal et Doymaz, 2020**), le rapport d'humidité a donc été calculé comme suit (Eq.2) :

$$MR = M / M_0 \quad (2)$$

2.2. 3. Diffusivité effective de l'humidité (D_{eff})

La diffusivité effective de l'humidité, qui dépend de la température et de la teneur en humidité d'un matériau, a été calculée par la deuxième loi de diffusion de Fick (Eq.3) :

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \Delta^2 M \quad (3)$$

La solution de la loi de diffusion de Fick pour une géométrie sphérique pour une longue période de séchage peut être exprimée comme suit (Eq.4) :

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{6}{\pi^2}\right) - \left(\frac{\pi^2 D_{eff}}{R^2}\right) \pi^2 \cdot t \quad (4)$$

Lorsque D_{eff} est la diffusivité effective de l'humidité (m²/s), il s'agit du temps de traitement et R est le rayon équivalent du fruit (m).

On obtient une diffusivité effective en comparant les données expérimentales de séchage en matière de ln(MR) en fonction du temps, où K est la pente de la courbe (**Onwude et al., 2016**) (Eq.5) :

$$K = \frac{\pi^2 D_{eff}}{R^2} \quad (5)$$

2.2.4. Énergie d'activation (E_a)

L'énergie d'activation pour le séchage des abricots entiers par micro-ondes a été calculée à l'aide d'une équation d'Arrhenius (Eq.6) (**Onwude et al., 2016**) .

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{P_m}\right) \quad (6)$$

Lorsque E_a est l'énergie d'activation (W/g), m est la masse du produit (g) et P_m est la puissance de sortie à micro-onde (W).

2.3. Résultats et discussion

2.3.1. Séchage de l'abricot

2.3.1.1. Etude de la cinétique de séchage

Au cours du processus de séchage, nous avons suivi l'évolution du rapport d'humidité de l'abricot (MR) en fonction du temps (t) avec :

$MR = f(t)$ avec un type de séchage à la micro-onde ; sachant que toutes les trente secondes (30 secs) pour le séchage à la micro-onde correspondent à un cycle.

2.3.1.2. Influence de la puissance de micro-ondes sur la cinétique du séchage des abricots entiers traités

La figure 3 montre les changements du rapport d'humidité (Moisture Ratio = MR) en fonction du temps de séchage (t) des abricots entiers prétraités par solution : de saccharose, NaCl et bisulfite de sodium à trois puissances de micro-onde (200,400 et 800 W).

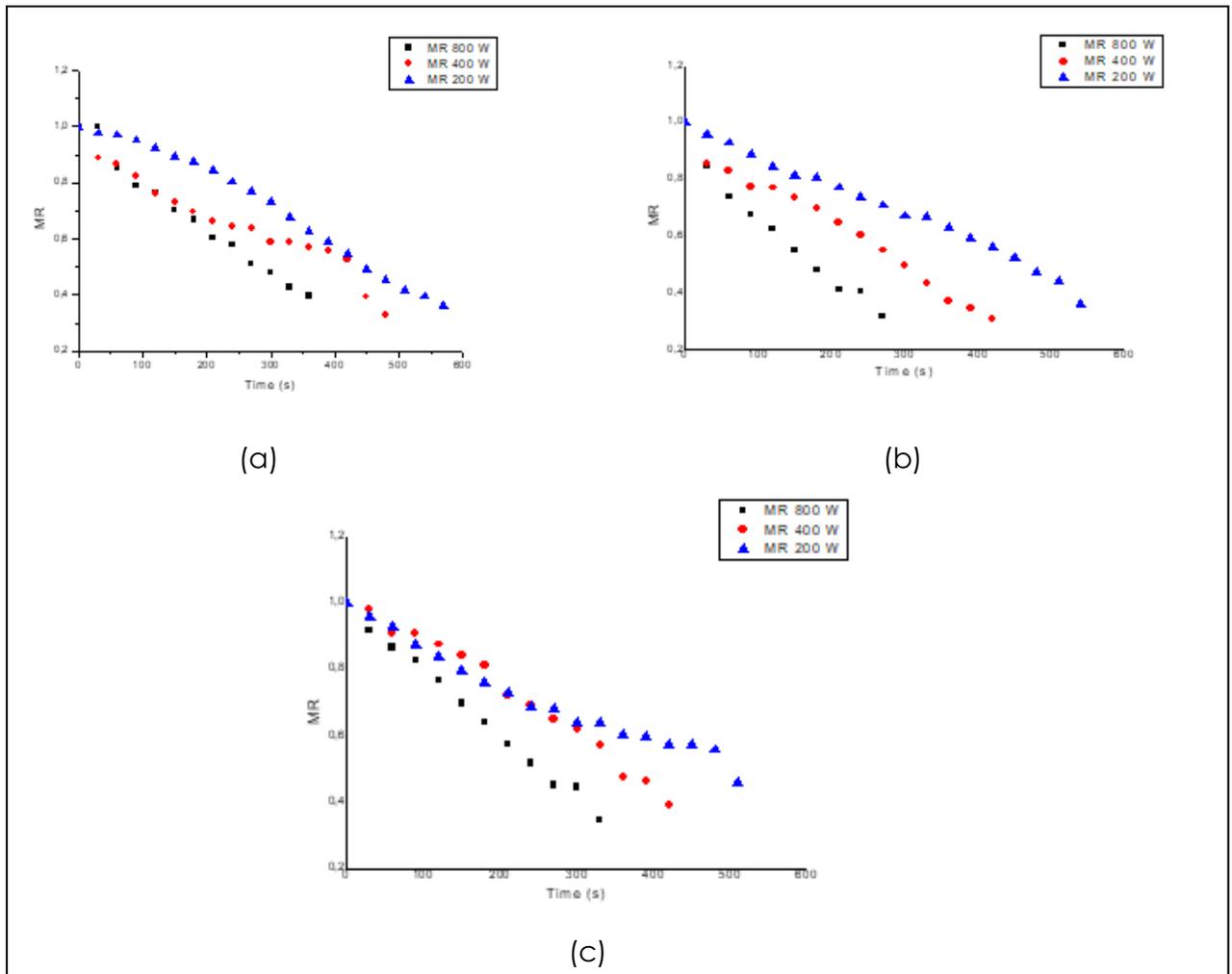


Figure 3 : Évolution du MR des abricots entiers traités par solution de : a) Saccharose, b) NaCl et c) Bisulfite de sodium en fonction du temps par microonde à différentes puissances (200, 400 et 800 W).

La teneur en eau des abricots frais était d'environ 85,93 %. Les abricots entiers ont été séchés jusqu'à une teneur en eau de 5 %. De manière générale, la cinétique de séchage des abricots traités séchés par micro-onde est similaire à celle trouvée par **Toğrul & Pehlivan (2002)**. On peut remarquer des courbes régulièrement décroissantes. Cette diminution correspond à l'élimination de l'eau libre. Au départ, la teneur en eau était élevée dans l'abricot et moins d'énergie micro-onde était absorbée ; l'abricot était chauffé par rayonnement et par conséquent, l'évaporation de l'eau était accélérée (**Sacilik et al., 2006**). Cependant, au fur et à mesure que le séchage progresse, l'eau doit se déplacer de l'intérieur du tissu végétal vers la surface, ce qui dépend d'une diffusion liquide, d'un mouvement capillaire et d'une diffusion de surface et ralentit la vitesse d'évaporation de l'eau (**Alam et al., 2013**).

La cinétique de séchage à 800 et 400 W est les plus courtes (270 et 420 secs, respectivement), alors que la cinétique de séchage à 200 W est la plus longue (570 secs). Par conséquent, notre cadre montre qu'il existe une influence remarquable de la puissance sur la

cinétique de séchage par micro-onde (Figure 3). Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par **Horuz et al. (2017b)**, qui ont étudié la cinétique de séchage par micro-onde des abricots à trois puissances 120, 150 et 180 W. Ces auteurs ont révélé que le temps de séchage passait de 156 à 409 min.

Les abricots séchés par micro-onde aux puissances de 400 et 800 W traités par solutions de : saccharose et du NaCl ont la durée la plus courte par rapport au traitement au bisulfite de sodium, car une quantité considérable d'eau des tissus immergés dans des solutions aqueuses concentrées ont déjà été éliminée par déshydratation osmotique (phénomène d'osmose). La différence de pression osmotique provoque un transfert de masse entre le tissu du fruit et l'agent osmotique. Deux flux opposés apparaissent : diffusion de l'eau à partir du tissu cellulaire du fruit (perte d'eau) et diffusion de l'agent osmotique dans les cellules (gain de matière solide). L'intensité du transfert de masse dépend du type d'agent osmotique, de la température et de la concentration de la solution osmotique, de la puissance de micro-onde, de la vitesse d'agitation, du rapport entre le fruit et l'agent osmotique et du rapport de masse entre le fruit et l'agent osmotique, ce qui justifie que le temps de séchage des abricots entiers traités au bisulfite de sodium soit long par rapport aux abricots traités au saccharose et au NaCl (**Kingsly et al., 2007**).

À la puissance de 200 W, le temps de séchage le plus court a été enregistré pour les abricots traités au NaCl (510 secs), suivis par les autres traitements. Le temps le plus long a été enregistré pour le séchage des abricots traités au bisulfite de sodium (510 à 570 secs), cette différence est due à l'agent de traitement utilisé. L'utilisation d'un prétraitement a amélioré la migration de l'humidité des abricots entiers et a réduit le temps de séchage. Ceci est confirmé par le blanchiment et le trempage dans une solution saline qui favorise la migration de l'humidité à partir des régions internes de la culture alimentaire (**Jahanbakhshi et al., 2020**). L'augmentation de la puissance de micro-onde permet de réduire le temps de séchage. Le prétraitement de chaque facteur indique que les traitements étudiés, le bisulfite de sodium et la puissance de micro-onde ont un effet significatif sur la perte d'eau des abricots.

2.3.2. Diffusivité effective de l'humidité (D_{eff})

La diffusivité effective de l'humidité (D_{eff}) chez les abricots variait de $2,92 \times 10^{-8}$ à $11,7 \times 10^{-8} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ pour les différentes valeurs de puissance et des prétraitements (Tableau 1).

Tableau 1 : Valeurs de diffusivité effective de l'humidité (m^2s^{-1}) pour le séchage de l'abricot entier ($D_{eff} \times 10^{-8}$).

Puissance (W)	$D_{eff} (m^2s^{-1})$		
	DO		Traitement en solution de bisulfite de sodium
	Solution de NaCl	Solution de saccharose	
200	2, 92	2, 92	2, 92
400	2, 92	5, 85	5, 84
800	8, 77	11, 7	5, 85

Les valeurs de D_{eff} d'abricot subissent un traitement de DO dans une solution de saccharose sont augmentées avec l'augmentation de puissance de micro-onde. Cette augmentation est due à l'augmentation de l'énergie de chauffage, qui augmenterait l'activité des molécules d'eau à diffuser. Les valeurs de D_{eff} des abricots séchés traités par solution de NaCl sont les mêmes pour les puissances 200 et 400 W ($2,92 \times 10^{-8} m^2s^{-1}$) et la D_{eff} des abricots séchés traités par solution de bisulfite de sodium aux puissances 400 et 800 W sont les mêmes ($5,84 \times 10^{-8} m^2s^{-1}$). N'a pas besoin d'une grande puissance parce que la puissance n'a aucune influence sur la diffusivité effective de l'humidité. Ces valeurs sont loin d'être celles que **Toğrul & Pehlivan (2002)** ont trouvées pour le séchage des abricots traités au dioxyde de soufre, où les valeurs de D_{eff} ont varié entre $4,86 \times 10^{-9}$ et $8,32 \times 10^{-9} m^2s^{-1}$ et **Horuz et al. (2017b)** pour sécher les moitiés d'abricots dans un four hybride à micro-onde et à air chaud, ont indiqué que le D_{eff} est entre $1,02 \times 10^{-9}$ et $8,31 \times 10^{-10} m^2s^{-1}$. Ces différences peuvent être dues à la forme et à l'épaisseur de l'abricot (couche mince, demi, entier), au type d'appareil de séchage et aux prétraitements. Les valeurs de D_{eff} obtenues dans cette étude situent dans la plage générale de 10^{-11} à $10^{-8} m^2s^{-1}$ pour le séchage des fruits et légumes (**Onwude et al., 2016**).

2.3.3. Énergie d'activation

L'énergie d'activation des abricots séchés variait de 8,90 à 21,26 W.g⁻¹ à différents traitements et puissances de microonde (Tableau 2).

Tableau 2 : Valeurs d'énergie d'activation (Wg^{-1}) pour le séchage d'abricot entier.

Puissance (W)	E_a (Wg^{-1})		
	DO		Traitement en solution de bisulfite de sodium
	Solution de NaCl	Solution de saccharose	
200	16, 01	21, 26	8,90
400			
800			

Les valeurs d'énergie d'activation étaient de 8,90 ; 16,01 et 21,26 Wg^{-1} pour les abricots séchés traités par solutions de : bisulfite de sodium, NaCl et de saccharose respectivement. La valeur d' E_a est la même pour les trois niveaux de puissance de micro-onde pour chaque traitement (200, 400 et 800 W) (voir tableau 2). Le traitement d'abricot dans une solution de saccharose donne la valeur d' E_a la plus élevée (21,26 Wg^{-1}), puis le traitement en solution de NaCl ($E_a = 16,01 Wg^{-1}$) et le traitement avec le bisulfite de sodium donne la valeur d' E_a la plus faible (8,909 Wg^{-1}). En outre, l'énergie d'activation obtenue est proche des valeurs de rapport pour les feuilles de menthe séchées à micro-onde était entre 11,05 et 12,28 Wg^{-1} (Özbek & Dadali, 2007) . Ce traitement nécessite donc des faibles valeurs d' E_a pour initier la diffusion de l'humidité des régions internes du fruit.

2.4. Conclusion

Le séchage d'abricot traité par saccharose, NaCl et bisulfite de sodium a été effectué à trois niveaux différents de puissance de micro-onde (200, 400 et 800 W). Les niveaux de puissance croissants ont affecté de manière significative le taux de séchage d'abricot. Les résultats obtenus ont montré que le temps de séchage diminue avec l'augmentation de la puissance de micro-onde. L'imprégnation d'abricot dans une solution de NaCl (6 %) comme méthode de prétraitement innovante peu coûteuse donne le temps de séchage le plus court par rapport aux autres traitements. La diffusivité effective d'humidité varie de $2,92 \times 10^{-8}$ à $11,7 \times 10^{-8} m^2/s$ avec des niveaux de puissance croissants de 200 à 800 W. L' E_a a été estimé à l'équation d'Arrhenius, et les valeurs ont été trouvées de 8, 90 à 21,26 W/g. Pour tous les types de traitement, les paramètres calculés (E_a , $Deff$) sont trop faibles, ce qui reflète l'efficacité des prétraitements pour réduire le temps de séchage.

Chapitre 3

Modélisation et intelligence artificielle de la cinétique de séchage d'abricot entier prétraité

Résumé

Cette étude a consisté à modéliser la cinétique de séchage d'abricots entiers prétraités avec des solutions de : saccharose, NaCl et bisulfite de sodium. Deux modèles d'intelligence artificielle ont été utilisés pour la prédiction du temps de séchage (DT) et de rapport en humidité (MR) : un réseau neuronal artificiel (RNA) et un système d'inférence neuro-flou adaptatif (SINFA). D'autre part, la prédiction de rapport en humidité (MR) a également été dotée de 21 modèles semi-empiriques, dont l'un a été créé par nous-mêmes. Les coefficients de corrélation du temps de séchage (0,99919) et de rapport d'humidité (0,9997) du modèle RNA étaient très élevés par rapport à ceux du modèle SINFA qui étaient respectivement de 0,99414 et 0,9995. Sur les vingt modèles semi-empiriques qui ont été simulés, nous avons trois modèles adaptés à notre étude (Modified Henderson & Pabis, Henderson & Pabis and Two Terms). En comparant les trois modèles adaptés à notre travail et le modèle proposé par nous-mêmes ainsi que le modèle RNA pour la prédiction de la MR, nous constatons que le modèle créé par nous-mêmes est le plus approprié pour décrire la cinétique de séchage de l'abricot traité au NaCl.

Mots clés : Intelligence artificiel, RNA, SINFS, MR, séchage, cinétique.

3.1. Introduction

Pour la production commerciale de produits séchés, la modélisation joue un rôle essentiel dans la technologie du séchage pour sélectionner le modèle de séchage le plus approprié et les conditions de travail optimales pour le traitement du produit (**Abano et al., 2021**). La modélisation des processus et de la cinétique du séchage est un outil de contrôle du processus et est nécessaire pour choisir la méthode de séchage appropriée pour un produit spécifique (**Erenturk et al., 2020; Ingle et al., 2019**). De nombreux modèles de séchage performants ont été développés pour clarifier le mécanisme de séchage par convection de divers produits agricoles, en particulier les fruits et légumes, pour les utiliser dans la conception, la construction et la gestion des systèmes de séchage (**Ghimire et al., 2020**).

Le modèle de séchage en couche mince est le plus fréquemment utilisé parmi ces techniques de modélisation. L'étude de la modélisation mathématique en couche mince des données cinétiques de séchage de divers produits agricoles ont été rapportées dans la littérature pour les bananes plantains, les mangues et la patate douce (**Koua et al., 2009**), les noix de coco (**Fernando & Amarasinghe, 2016**), les kiwis (**Vallespir et al., 2019; Wang et al., 2019**), les cerises (**Nowacka et al., 2019**), les aubergines (**Erenturk et al., 2020**), les bananes (**Tunckal & Doymaz, 2020**), les coings (**Abbaspour-Gilandeh et al., 2020a**), les pommes de terre (**Onu et al., 2020**), les betteraves (**Dasore et al., 2020**), les carottes (**Guo et al., 2020**), les pommes (**Rojas et al., 2020; Salehi & Satorabi, 2021**), les abricots (**Satorabi et al.,**

2021), les feuilles de *Ocimum gratissimum* et les feuilles de basilic citron (*Ocimum africanum*) (Mbegbu et al., 2021).

Le modèle de séchage des fruits entiers est rarement utilisé, à cause de difficultés de travail et le temps le plus long. L'étude de la modélisation mathématique en produits entiers des données cinétiques de séchage de divers produits agricoles ont été rapportées dans la littérature pour les fruits entiers de rose musquée (*Rosa rubiginosa* L.) (Ochoa et al., 2002). La transformation des aliments est un système complexe en raison de l'interaction complexe entre les différents composants. Il est donc plus difficile de développer des modèles mathématiques, car en principe il est nécessaire de comprendre les principaux mécanismes impliqués dans le processus. Malgré la critique centrée sur le fait qu'elle ne repose pas sur lois fondamentales et/ou individuelles, Aujourd'hui la méthode de l'intelligence artificielle (IA) a été développée et est largement utilisée pour la simulation du séchage des matériaux agricoles et alimentaires et résolve les problèmes liés à la modélisation des processus (Yousefi et al., 2012). La base du travail des méthodes intelligentes consiste à utiliser les connaissances cachées dans les données expérimentales, en essayant d'extraire les relations inhérentes entre elles et de généraliser les résultats à d'autres situations (Abbaspour-Gilandeh et al., 2020b). Il permet de trouver la relation entre les entrées et les sorties d'un processus de production. Il se base sur les modèles mathématiques par apprentissage et produit des résultats sans aucune hypothèse préalable (Khoshnevisan et al., 2014; Rodríguez et al., 2011).

Réseau de neurones artificiels (RNA, ANN : Artificial Neural Network) et le système d'inférence neuro-floue adaptatif (SINFA, ANFIS : adaptive neuro-fuzzy inference system) sont les modèles les plus utilisés dans la technologie de séchage des produits agro-alimentaires et peuvent modéliser de manière adéquate des phénomènes complexes et hautement non linéaires (Khazaei Poul et al., 2019).

Les RNA constituent l'une des méthodes les plus essentielles utilisées dans le domaine de l'intelligence artificielle s'inspire du fonctionnement du cerveau humain, la formation a lieu en premier, puis les informations liées aux données sont stockées sous la forme des poids du réseau (Ling & Sun, 2021). Les RNA sont des systèmes adaptatifs qui tendent à modifier leur structure en fonction des informations qui leur sont présentées, en utilisant des données non linéaires pilotées par des modèles mathématiques qui ne nécessitent aucune hypothèse initiale spécifique liée aux données, en mettant en œuvre des relations complexes entre les entrées et les sorties, basées sur des algorithmes d'apprentissage tels que "supervisé, non supervisé, semi-supervisé ou de renforcement" (Shaik & Verma, 2020). Les réseaux supervisés ont besoin d'un algorithme d'apprentissage et d'une anthologie de données d'apprentissage pour ajuster les poids

de connexion, tandis que les réseaux non supervisés peuvent réguler les poids par eux-mêmes pour obtenir les résultats requis sans appliquer d'algorithmes d'apprentissage. Les réseaux supervisés sont utilisés pour les processus de classification, de prédiction et d'approximation de fonctions. Les réseaux non supervisés sont appropriés pour le regroupement de modèles. Les réseaux supervisés sont adaptés à la prédiction et au contrôle des opérations de transformation des aliments. Les RNA ainsi que les équations linéaires prédisent le comportement des données en mode d'interpolation (**Kaveh et al., 2018**). Le réseau neuronal artificiel est un outil réputé pour résoudre des systèmes biologiques complexes et non linéaires et peut donner des résultats logiques même dans des cas compliqués ou en cas des défaillances technologiques (**Yousefi et al., 2012**). Il a été prouvé qu'il s'agit d'une technique de modélisation puissante pour les problèmes complexes et non linéaires, avec une proposition forte pour l'apprentissage et l'approximation de fonctions (**Hammoudi et al., 2019**). Le RNA est particulièrement capable de traiter de grands ensembles de données d'entrée/sortie et de visualiser les associations non linéaires complexes et non linéaires au sein de ces données. Ce qui permet ensuite de créer des modèles de processus complexes dans le but de l'optimisation et de contrôle (**Charles et al., 2019**).

Dans le domaine de l'agroalimentaire, les modèles non linéaires sont plus adaptés en raison de la flexibilité et du comportement non linéaire des produits naturels. En outre, de nombreux processus de production impliquent des oscillations dans les conditions du processus et dans une large mesure, dépendent de la compétence et de l'expérience des opérateurs. Par conséquent, les modèles de RNA ont récemment pris de l'ampleur pour la modélisation et le contrôle des processus. Les modèles de RNA sont reconnus comme de bons outils pour la modélisation dynamique car ils ne nécessitent pas les paramètres des modèles physiques. Ces modèles sont capables d'apprendre la solution de problèmes à partir d'un ensemble de données empiriques, et de gérer des systèmes complexes avec des non-linéarités et des interactions entre les variables de décision. Les modèles RNA sont construits en interconnectant de nombreux éléments de calcul non linéaires, connus sous le nom de neurones ou de nœuds, fonctionnant en parallèle et disposés selon des modèles similaires aux réseaux biologiques (**Kaveh, Chayjan, et al., 2018**).

Afin de créer un système qui simule le comportement humain et présente une incertitude cognitive, les réseaux neuronaux ont été combinés avec la logique floue et ont formé un nouveau système appelé SINFA (**Jahanbakhshi et al., 2020**). Le SINFA est un réseau neuro flou hybride bien connu pour la modélisation de systèmes complexes. L'ANFIS fusionne le style de raisonnement humain des systèmes d'inférence flous à travers l'utilisation d'ensembles flous et d'un modèle linguistique comprenant un ensemble de règles floues If-Then (**Satorabi**

et al., 2021). La principale force des modèles SINFA est qu'ils sont des approximateurs universels avec la capacité de solliciter des règles If-Then interprétable. Une approche à la dérivation de la base de règles floue est d'utiliser les caractéristiques d'auto-apprentissage de ANN, de désamorcer les fonctions d'adhésion fondées sur les données d'entrées-sorties (**Amini et al., 2021; Salehi & Satorabi, 2021**). SINFA est un système capable d'analyser des processus de séchage compliqués en utilisant la puissance pédagogique des réseaux neuronaux et des systèmes flous linguistiques (**Kaveh et al., 2021**).

Des efforts ont été faits pour trouver le modèle statistique le plus approprié pour prédire les paramètres, tels que la teneur en eau, la vitesse de séchage, la cinétique de séchage, le temps de séchage et le rapport d'humidité... etc, pendant le processus de séchage.

L'importance de la prédiction d'un processus ou d'une propriété ne saurait être trop soulignée. La modélisation et la prédiction à partir d'un petit ensemble de données expérimentales deviennent une option appropriée pour prévoir un processus ou des propriétés. Étant donné que l'étude de nombreux processus ou propriétés dans la vie réelle peut être coûteuse en temps et en argent, la modélisation et la prédiction à partir d'un petit ensemble de données expérimentales deviennent une option appropriée pour prévoir un processus ou des propriétés (**Adeyi et al., 2020**).

Amini et al. (2021), ont utilisé SINFA pour prédire le temps de séchage du mucilage de graines de basilic. En utilisant l'intelligence artificielle, un certain nombre d'études ont été rapportées sur la prédiction du rapport d'humidité (MR : Moistre ratio) et du temps de séchage pour divers produits agricoles tels que les tranches d'abricot (**Satorabi et al., 2021**), le coing (**Abbaspour-Gilandeh et al., 2020b**), les oignons (**Kaveh et al., 2021**), le mucilage de graines de basilic (**Amini et al., 2021**), les pois verts (**Kaveh et al., 2020**), les pommes de terre et les ails (**Kaveh, Rasooli Sharabiani, et al., 2018**), le mûrier blanc (**Jahedi Rad et al., 2018**). Cependant, il y a encore très peu de données rapportées sur la prédiction du temps de séchage des tranches d'abricot par SINFA et algorithme génétique-réseau neuronal artificiel (GA-ANN) par infrarouge (**Satorabi et al., 2021**).

Les systèmes RNA et SINFA sont utilisés pour prédire la cinétique de séchage, MR et temps de séchage (DT : drying time), afin de réduire le temps de séchage et de minimiser les pertes chimiques en laboratoire.

Plusieurs chercheurs ont proposé des modèles mathématiques pour décrire le phénomène de changement de la teneur en eau, du transfert de chaleur et de la masse lors du séchage. Les équations peuvent être des modèles théoriques, semi-théoriques et empiriques, les modèles théoriques expliquent clairement le comportement de séchage du produit et peuvent être utilisés

dans toutes les conditions de processus, bien qu'ils impliquent de nombreuses hypothèses entraînant des erreurs considérables (Badaoui et al., 2019). Les modèles théoriques les plus utilisés sont dérivés de la diffusion. De même, les modèles semi-théoriques sont généralement dérivés de la deuxième loi de Fick et des modifications de ses formes simplifiées (d'autres modèles semi-théoriques sont dérivés de la loi de refroidissement de Newton) (Parry, 1985). Elles sont plus simples et nécessitent moins d'hypothèses en raison de l'utilisation de certains résultats expérimentaux. D'un autre côté, elles ne sont valables que dans les conditions du processus appliqué. Les modèles empiriques ont des caractéristiques similaires aux modèles semi-empiriques. Ils dépendent fortement des conditions expérimentales et donnent des informations limitées sur le comportement de séchage du produit (Özdemir & Onur Devres, 1999).

L'objectif de cette partie est tout d'abord : (1) de prédire le DT et le MR de la cinétique de séchage d'abricot entier par RNA et SINFA, (2) faire la simulation des données expérimentales par 20 modèles mathématiques, (3) proposer un nouveau modèle mathématique pour la cinétique de séchage d'abricot entier traité, (4) comparer les résultats de la prédiction du temps par le modèle RNA et SINFA et (5) comparer les résultats de la prédiction du MR par : le modèle proposé par nos, et les 2 modèles d'IA (RNA et SINFA).

3.2. Matériel et méthodes

3.2.1. Méthodes de prédiction du temps par RNA et SINFA

Deux méthodes (RNA, SINFA) ont été utilisées pour la prédiction du temps. La base de données a été normalisée une fois dans l'intervalle [-1, +1], et divisée en deux sections : 70 % de l'ensemble de données pour la formation et 30 % des échantillons finaux, qui n'étaient pas impliqués dans la formation du modèle, ont été utilisés pour la vérification afin de réaliser la prédiction du modèle (Tahraoui et al., 2020). Le coefficient de détermination (R^2) et l'erreur quadratique moyenne (RMSE) ont été utilisés pour évaluer la performance des modèles.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp}} - MR_{\text{pred}})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp}} - \overline{MR_{\text{exp}}})^2} \quad (1)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\left(\frac{1}{N}\right) \left(\sum_{i=1}^N [(MR_{\text{exp}} - MR_{\text{prd}})]^2\right)} \quad (2)$$

Où MR_{exp} et MR_{pred} sont les MR sans dimension expérimentaux et prédits, respectivement, et N c'est le nombre d'observations (Hashim et al., 2014; Tahraoui et al., 2020).

3.2.1.1. Modélisation par RNA

Les RNA sont des modèles empiriques non linéaires. En général, ils sont composés de nombreuses unités (neurones) fonctionnant en parallèle. Le fonctionnement de ce réseau est largement déterminé par les connexions entre ces éléments (Zilouchian & Jafar, 2001). Ces neurones sont répartis sur trois couches : une couche d'entrée, une couche de sortie et une couche cachée. Le nombre de neurones de la couche d'entrée est lié au nombre de variables d'entrée, et le nombre de neurones de la couche de sortie est le même que le nombre de variables de sortie. Entre ces deux couches, il y a au moins une couche cachée dont le nombre de neurones dépend de l'application du réseau (figure 1) (Tahraoui et al., 2020; Yolmeh et al., 2014). La régression neuronale optimisée par l'architecture du réseau est basée sur la répartition de la base de données en trois ensembles : (apprentissage, test et validation), les fonctions de transfert, le nombre de neurones dans la couche cachée et l'algorithme de formation (Atsamnia et al., 2017).

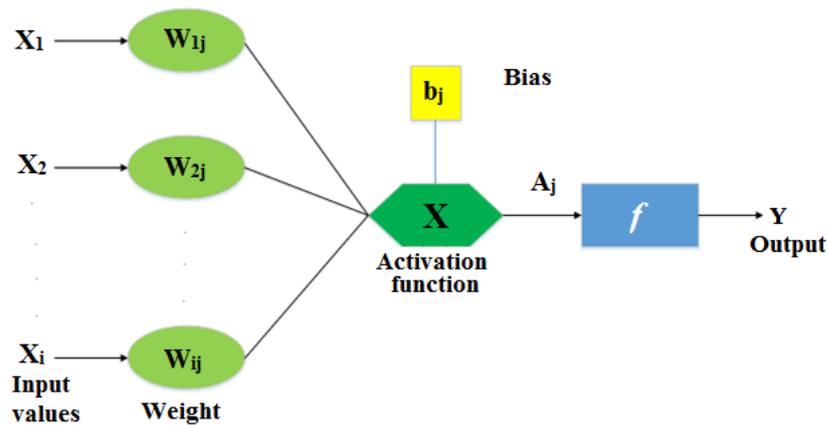


Figure 1 : Présentation des réseaux neuronaux multicouches (Bousselma et al, 2021).

La sortie (S_j) du neurone est calculée en utilisant la relation Eq.3 :

$$S_j = f\left(\sum_{i=1}^N w_{ij} X_i + b_j\right) \quad (3)$$

Où w_{ij} est un poids synaptique, b_i est l'entrée de biais, et X_i la $i^{\text{ème}}$ entrée. f est la fonction d'activation qui peut généralement être sigmoïde ou tangente hyperbolique (Ousmana et al., 2018).

Les fonctions d'activation tansig et logsig peuvent être décrites comme suit :

$$f(a) = \text{tansig}(a) = \frac{2}{1+e^{-2a}} - 1 \quad (4)$$

$$f(a) = \text{logsig}(a) = \frac{1}{1+e^{-a}} \quad (5)$$

Dans cette étude, le RNA a été utilisé comme une technique rapide et fiable pour modéliser le processus de séchage. Dans le modèle RNA, toutes les données disponibles sont

divisées en deux parties : une pour l'apprentissage et une pour la validation du modèle. Le RNA a été utilisé pour modéliser le rapport d'humidité des abricots entiers séchés par four à micro-onde traités par des solutions de : saccharose, du NaCl et du bisulfite de sodium. Il se compose de plusieurs neurones artificiels interconnectés où chacun d'entre eux donne une sortie unique (Y) induite de toutes les entrées (X_i) (Hammoudi et al., 2019) . Les fonctions d'activation se trouvaient dans la couche cachée (logsig et tansig). Le meilleur modèle final a été sélectionné sur la base de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) minimale et du coefficient de détermination (R^2) maximal. Les études de simulation ont été réalisées à l'aide du logiciel MATLAB R2013a.

3.2.1.2. Modélisation par SINFA

SINFA est un système de calcul technique qui intègre le concept de logique floue dans les réseaux neuronaux. Le modèle de SINFA est une sorte de réseau neuronal qui reconnaît d'abord les modèles de séchage, puis utilise des systèmes d'inférence flous pour mettre en œuvre la prise de décision et la différenciation. Une structure adaptative du système d'inférence neuro floue (SINFA) se compose de 5 couches (figure 2). (1) la couche de fuzzification, (2) la couche de règle, (3) la couche de normalisation, (4) la couche de défuzzification (5) et la couche de sortie (figure 2) (Abbaspour-Gilandeh et al., 2020a). Dans sa théorie, SINFA à une structure comprenant un algorithme de propagation de retour est lié à un réseau neuronal multicouche fuzzy cum Sugeno avec des couches d'entrée et de sortie cachées à trois couches.

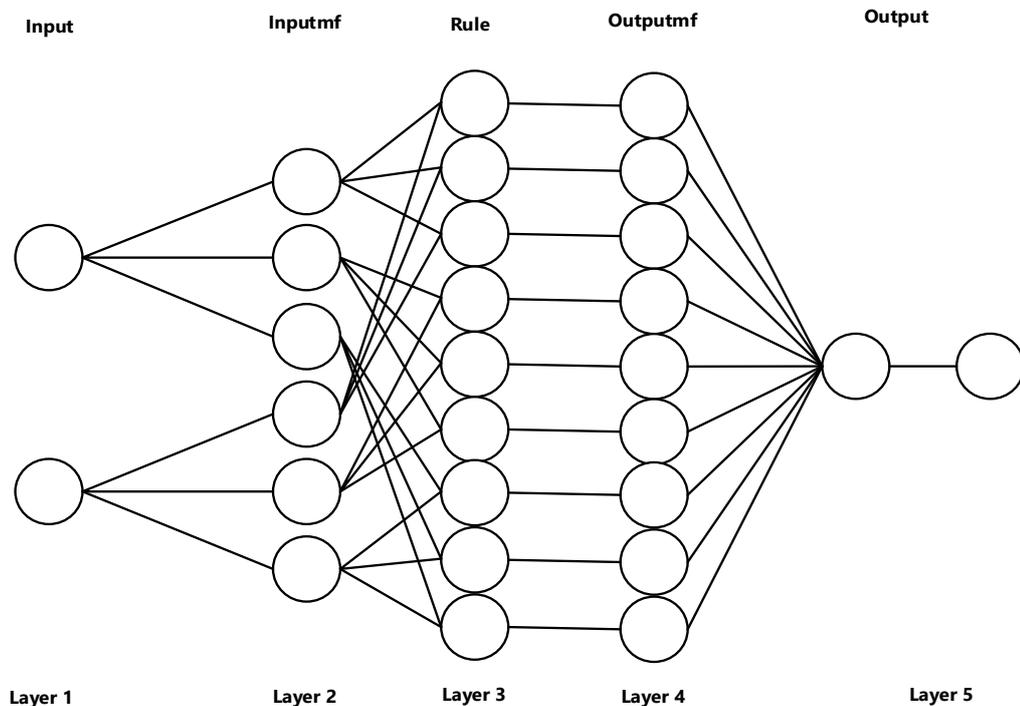


Figure 2 : Structure du SINFA (Bousselma et al., 2021).

Dans cette partie, l'outil SINFA a été utilisé pour prédire la cinétique du temps de séchage des abricots entiers traités avec une solution de saccharose, du NaCl et du bisulfite de sodium dans un four à micro-ondes à différentes puissances (200, 400 et 800 W). Il y a cinq paramètres d'entrée, y compris la puissance du micro-onde, le poids total des abricots entiers, la teneur en eau, la teneur en matière sèche et le taux d'humidité (MR) et une sortie est le temps de séchage (DT).

3.2.2. Modélisation mathématique du séchage des abricots entiers

Dans cette section, nous avons proposé un nouveau modèle semi-empirique. Ce modèle a été comparé à vingt modèles de la littérature qui ont été étudiés par les chercheurs. Afin de décrire le rapport d'humidité des abricots entiers traités au saccharose, au NaCl et au bisulfite de sodium, et aussi pour déterminer l'équation empirique la plus appropriée, les paramètres du modèle mathématique ont été optimisés à l'aide d'un logiciel de sigma Plot version 10. Notre modèle et les 20 autres modèles sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Modèles mathématiques appliqués aux courbes de séchage (Abbaspour-Gilandeh et al., 2019; Chandra & Singh, 2017; Djebli et al., 2020; Güler et al., 2020; Izli & Polat, 2019; Kaveh et al., 2020; Keskes et al., 2020; Oyebola Odunayo & Adedotun Timothy, 2020; Roman et al., 2020; Süfer et al., 2017; Szadzińska et al., 2019; Wang et al., 2007).

Nom du modèle	Modèle
Lewis	$MR = \exp(-kt)$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$
Wang and Singh	$MR = 1 + a_1t + a_2t^2$
Henderson & Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$
Two Term	$MR = a \exp(-Kt) + b \exp(-K' t)$
Midilli	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-K' t)$
Modified Henderson & Papis	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-K' t) + c \exp(-K'' t)$
Two_term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$
Simplified Fick's diffusion	$MR = a \exp(-k (t/ L^2))$
Modifide Page III	$MR = a \exp(-k (t/ L^2)^n)$
Demir et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$
Weibull	$MR = a \exp(-(t/a)^n)$
Hii	$MR = a \exp(-kt^n) + b \exp(-k_1 t^n)$
Keskes et al.	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-kt^{1/n}) + c$
Geometric	$MR = at^{-1}$
Logistic	$MR = \frac{a}{(1+a \exp(Kt))}$
Modèle proposé	$MR = \frac{(a+bx)}{(1+ct+dt^2)}$

a, a₁, a₂, b, c, d, coefficients et n, exposant spécifique de chaque équation de séchage ; k, K', K'', k₁ coefficients spécifiques de chaque équation de séchage, t est le temps de séchage.

Le coefficient de corrélation (R²) est le premier critère utilisé pour sélectionner le meilleur modèle qui définit les données expérimentales de séchage (Tahraoui et al., 2020). De plus, la réduction du chi carré (χ²) et l'erreur quadratique moyenne de la racine carrée (RMSE) ont été utilisées pour déterminer la qualité de l'ajustement (Oyebola Odunayo & Adedotun Timothy, 2020). Ces paramètres sont calculés par les équations (1, 2) et l'équation (6) :

$$\chi^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp}} - MR_{\text{pred}})^2}{N - n} \right] \quad (6)$$

Où MR_{exp} et MR_{pred} sont les MR sans dimensions expérimentales et prédites, respectivement, N c' est le nombre d'observations, et n est le nombre de constantes du modèle (Hashim et al., 2014).

3.2.3. Méthodes de prédiction du rapport d'humidité (MR) par RNA et SINFA

Dans cette section, des modèles (RNA, SINFA) ont également été utilisés pour prédire la MR. Le coefficient de détermination (R^2) et le coefficient ajusté ont été utilisés pour la performance des modèles Eqs. (1, 2).

3.3. Résultats et discussion

3.3.1. Méthodes de prédiction du temps par RNA et SINFA

3.3.1.1. Modélisation par RNA

Dans cette étude, un réseau RNA a été utilisé pour prédire le temps de séchage. Pour obtenir un meilleur résultat, le réseau de propagation de la rétroaction avec des algorithmes d'apprentissage (LM) a été choisi, après quoi ce réseau a été optimisé avec trois fonctions d'activation (tansig, logsig, et purelin) et également avec de nombreux neurones de la couche cachée (03 : 15). Cinq paramètres d'entrées, dont la puissance de micro-onde (W), le poids total des abricots (g), la teneur en humidité (%), la teneur en matière sèche (%) et le rapport d'humidité (MR), et un paramètre de sortie est le temps de séchage (s).

Les résultats de la modélisation du RNA pour la prédiction du temps de MR sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Performances des différentes architectures du RNA testées du temps.

Temps	Architecture de réseau	Fonction d'activation		Coefficients de détermination			RMSE x 10 ⁻⁶		
		Couche cachée	Couche sortie	Formation	Validation	TED	Formation	Validation	TED
Lm Levenberg - Marquard	[5-15-1]	Tansig	Purelin	0,99864	0,9991	0,9987	7,8056	6,0607	7,4892
	[5-15-1]	Logsig	Purelin	0,99844	0,9989	0,9985	8,0176	7,8217	7,9788

Dans le tableau 2, on peut remarquer que les résultats sont presque égaux du point de vue du coefficient de corrélation et de la RMSE dans les trois phases (formation, validation et la totalité de l'ensemble de données (TED)). Par conséquent, la première architecture a été choisie car on a constaté une légère augmentation du coefficient de corrélation et une légère diminution de la RMSE par rapport à la deuxième architecture. Les résultats du tableau 2 ont été représentés graphiquement dans les figures 3 et 4. La figure 5 montre à nouveau l'efficacité de notre modèle qui a été choisi dans cette partie.

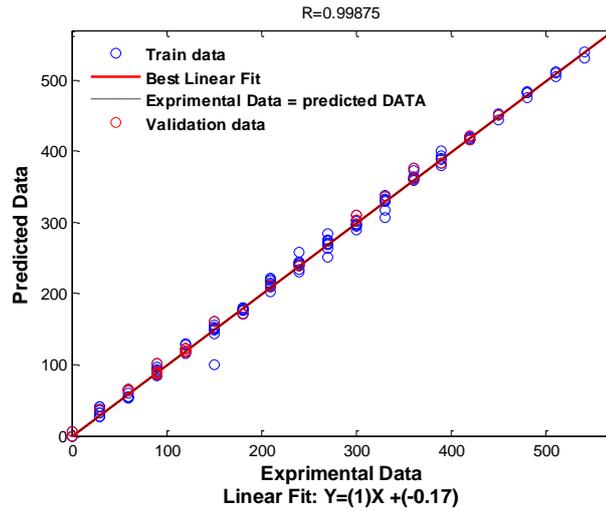


Figure 3 : Valeurs prédites par rapport aux valeurs expérimentales du temps tansig du modèle RNA de la phase de validation et formation.

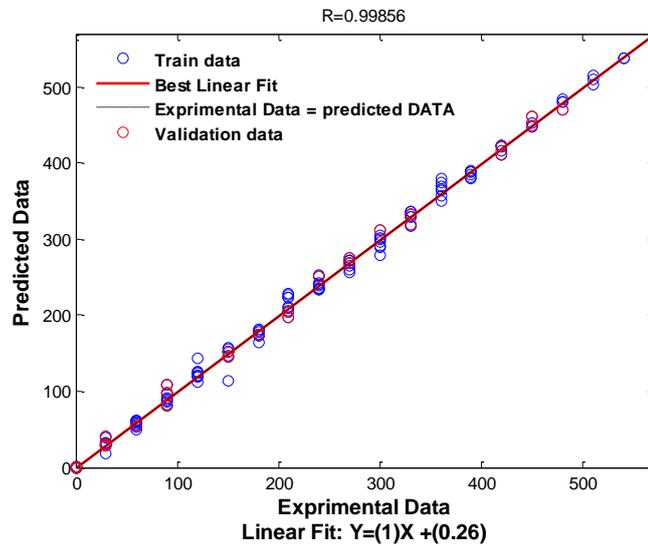


Figure 4 : Valeurs prédites par rapport aux valeurs expérimentales du temps logsig du modèle RNA de la phase de validation et formation.

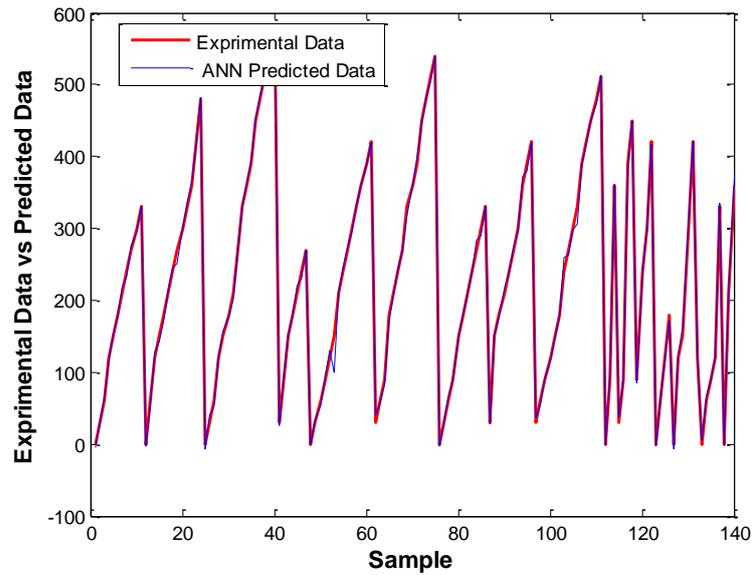


Figure 5 : Relation entre les données expérimentales du temps de la cinétique de séchage des abricots entiers traités et celles estimées par le modèle RNA.

3.3.1.2. Modélisation par SINFA

Dans ce travail, la technique de prédiction du temps de séchage (DT) des abricots entiers traités par micro-onde par SINFA ont été utilisées. Il y a cinq paramètres d'entrée, notamment la puissance de micro-onde, le poids total des abricots, la teneur en humidité, la teneur en matière sèche et le rapport d'humidité (MR). Le tableau 3 révèle les meilleurs algorithmes pour SINFA. Le coefficient de corrélation (R^2) est très élevé, d'autre part, l'indicateur statistique est très faible (RMSE), ce qui indique une bonne adéquation ou performance et suggère que le système ANFIS peut être utilisé efficacement pour prédire le temps de séchage. Ce résultat trouvé est meilleur ($R^2 = 0,9921$) que celui trouvé par (Satorabi et al., 2021), qui ont trouvé un coefficient de corrélation de $R^2 = 0,973$, sachant que la seule différence était dans le volume du fruit d'abricot séché, nous avons utilisé le fruit entier alors que (Satorabi et al., 2021), utilisent des tranches d'abricots.

Le tableau 3 montre que les résultats sont presque égaux en termes de coefficient de corrélation et de RMSE dans les trois phases (formation, validation et TED). Par conséquent, la phase de formation a été choisie car on a constaté une légère augmentation du coefficient de corrélation (0,99414) et une légère diminution de la RMSE (16,2664) par rapport aux phases : TED et de validation ($R^2 : 0,99211$, RMSE : 18,7286) et ($R^2 : 0,98304$, RMSE : 26,6716), respectivement. Les résultats du tableau 3 sont représentés graphiquement dans la figure 6. La figure 7 montre la relation entre les données expérimentales du temps de la cinétique de séchage des abricots entiers traités et celles estimées par le modèle SINFA. On peut voir que le système

a été bien entraîné pour modéliser ces paramètres. La valeur R^2 calculée pour l'estimation de DT était de 0,9921, ce qui montre une forte corrélation entre les valeurs prédites et expérimentales. En général, ce modèle explique simplement le processus hautement non linéaire, y compris le séchage par micro-onde, sans qu'il soit nécessaire d'établir les mécanismes compliqués impliqués.

Tableau 3 : Performances des différentes architectures du SINFA testées du temps.

ANFIS		MF Type		Formation FIS	Coefficients de corrélation			RMSE x (10 ⁻⁶)		
	Nombre de MFs	Entrée	Sortie	Méthode d'optimisation	Formation	Validation	TED	Formation	Validation	TED
Temps	[2 2 2 2 2]	Gbellmf	Linear	Hybrid	0,99414	0,98304	0,99211	16,2664	26,6716	18,7286

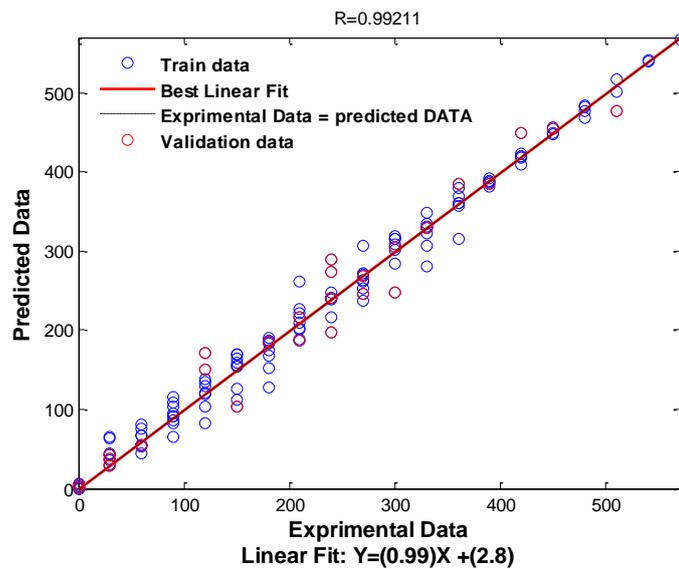


Figure 6 : Valeurs prédites par rapport aux valeurs expérimentales du temps du modèle SINFA de la phase de validation et formation.

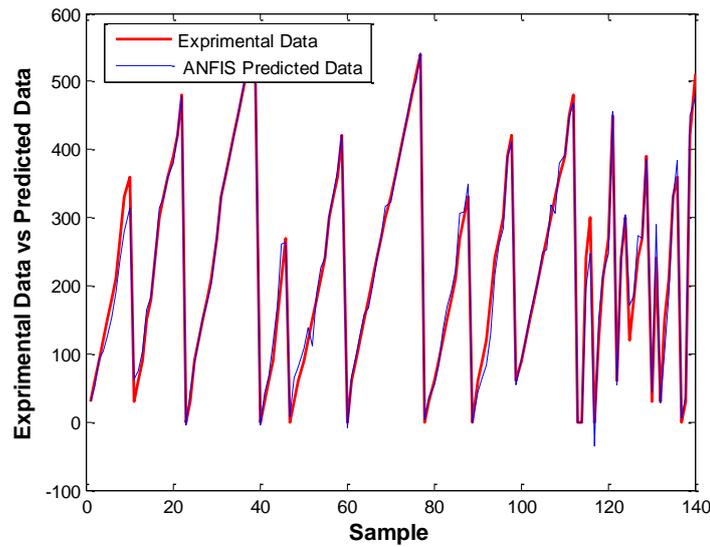


Figure 7 : Relation entre les données expérimentales du temps de la cinétique de séchage des abricots entiers traités et celles estimées par le modèle SINFA.

3.3.2. Comparaison entre le temps de séchage de RNA et SINFA

La comparaison entre le modèle RNA et le modèle SINFA est basée sur les paramètres statistiques (R^2 et RMSE). Le tableau 4 montre la comparaison entre le temps de séchage (DT) des modèles RNA et SINFA.

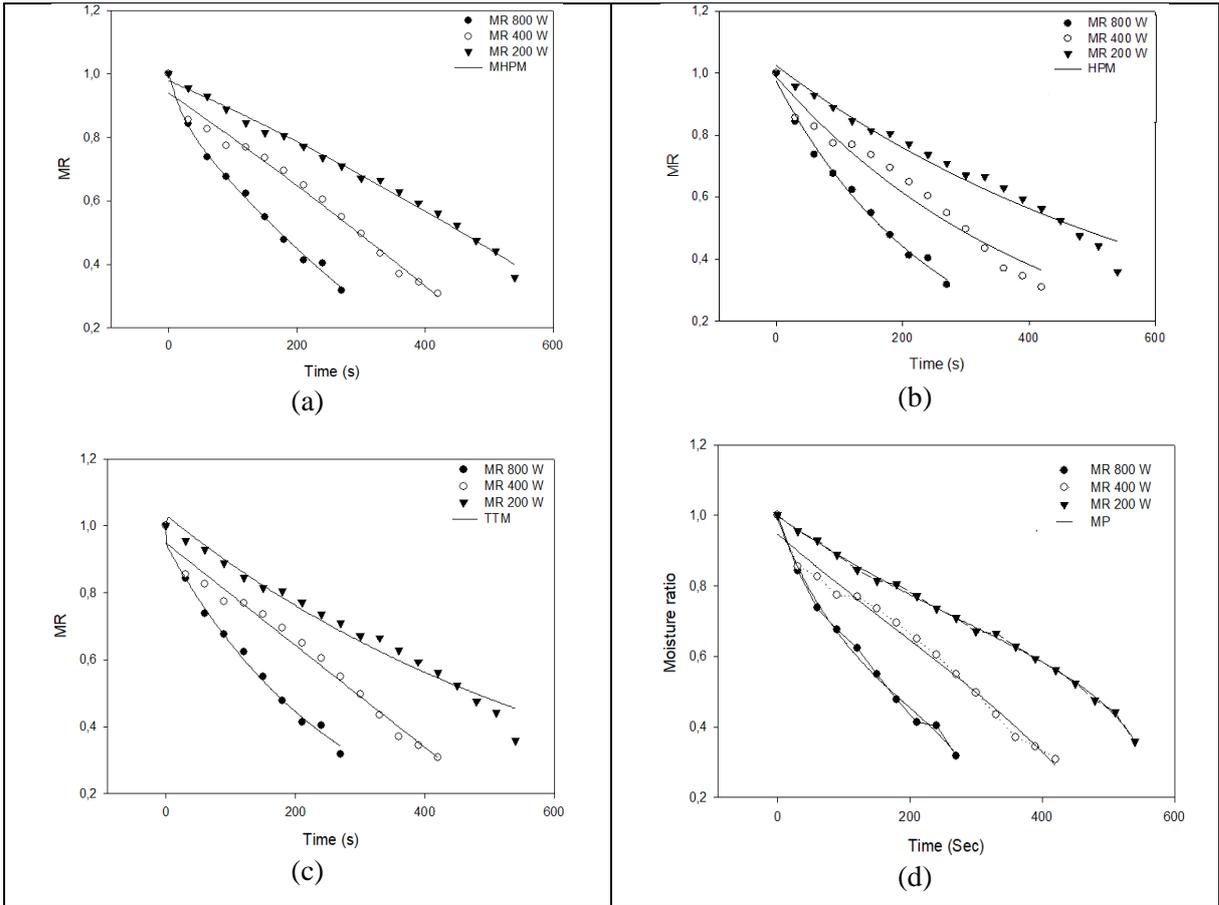
Selon le tableau 4, le modèle RNA contient un coefficient de corrélation plus élevé ($R^2 = 0,99919$) et une faible valeur de RMSE ($6,0607 \times 10^{-6}$) par rapport au SINFA ($R^2 = 0,99414$, $RMSE = 16,2664 \times 10^{-6}$). Le modèle RNA est le plus approprié pour la prédiction du temps de séchage de l'abricot entier.

Tableau 4 : Comparaison entre le temps du séchage (DT) de RNA et SINFA.

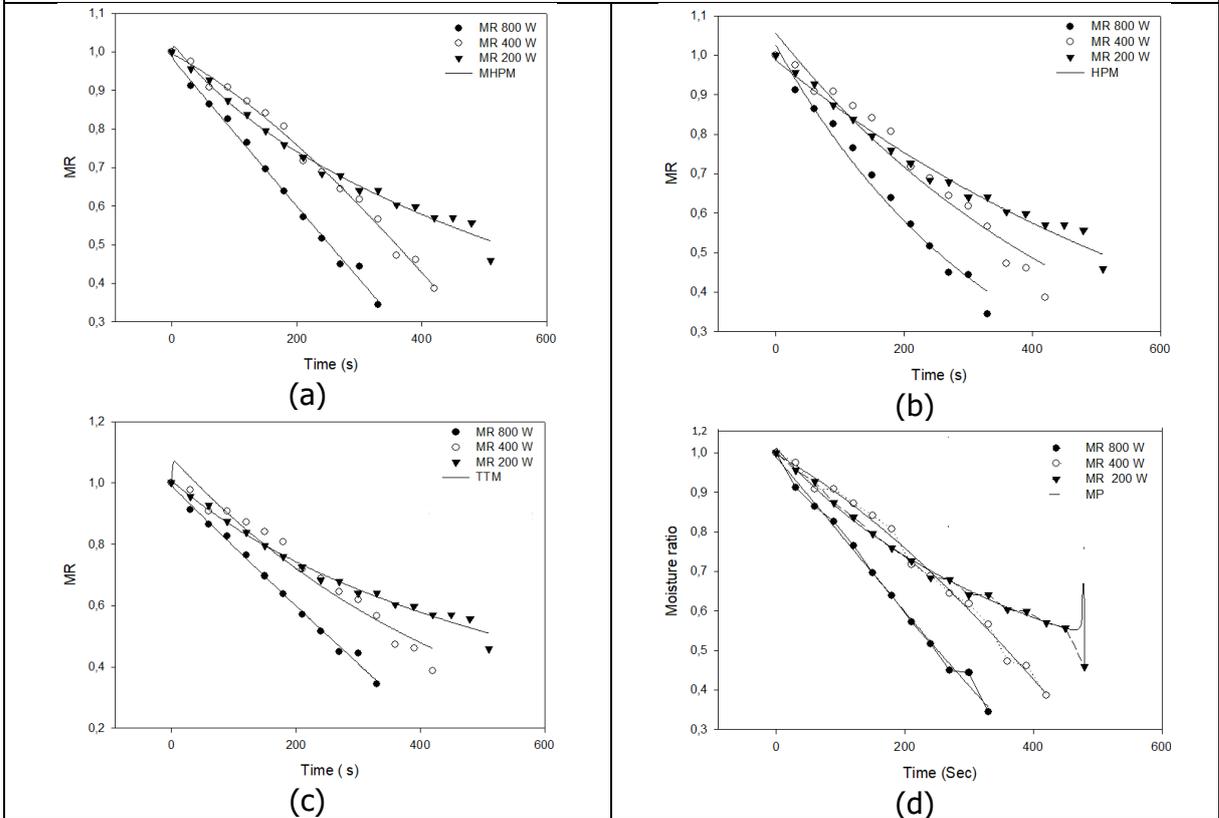
Modèle	RMSE x (10^{-6})	R^2
RNA (DT)	6,0607	0,99919
SINFA (DT)	16,2664	0,99414

3.3.3. Modélisation de la cinétique de séchage des abricots

Dans ce travail, la cinétique de séchage est modélisée par trois modèles mathématiques (Modified Henderson & Pabis, Henderson-Pabis, et Two Term) et le modèle proposé. La figure 7 illustre les résultats obtenus. Les valeurs calculées des paramètres statistiques utilisés sont présentées dans les tableaux 5-7, le modèle le plus approprié étant indiqué en caractères gras (figure 8).



Traitement au saccharose



Traitement au NaCl

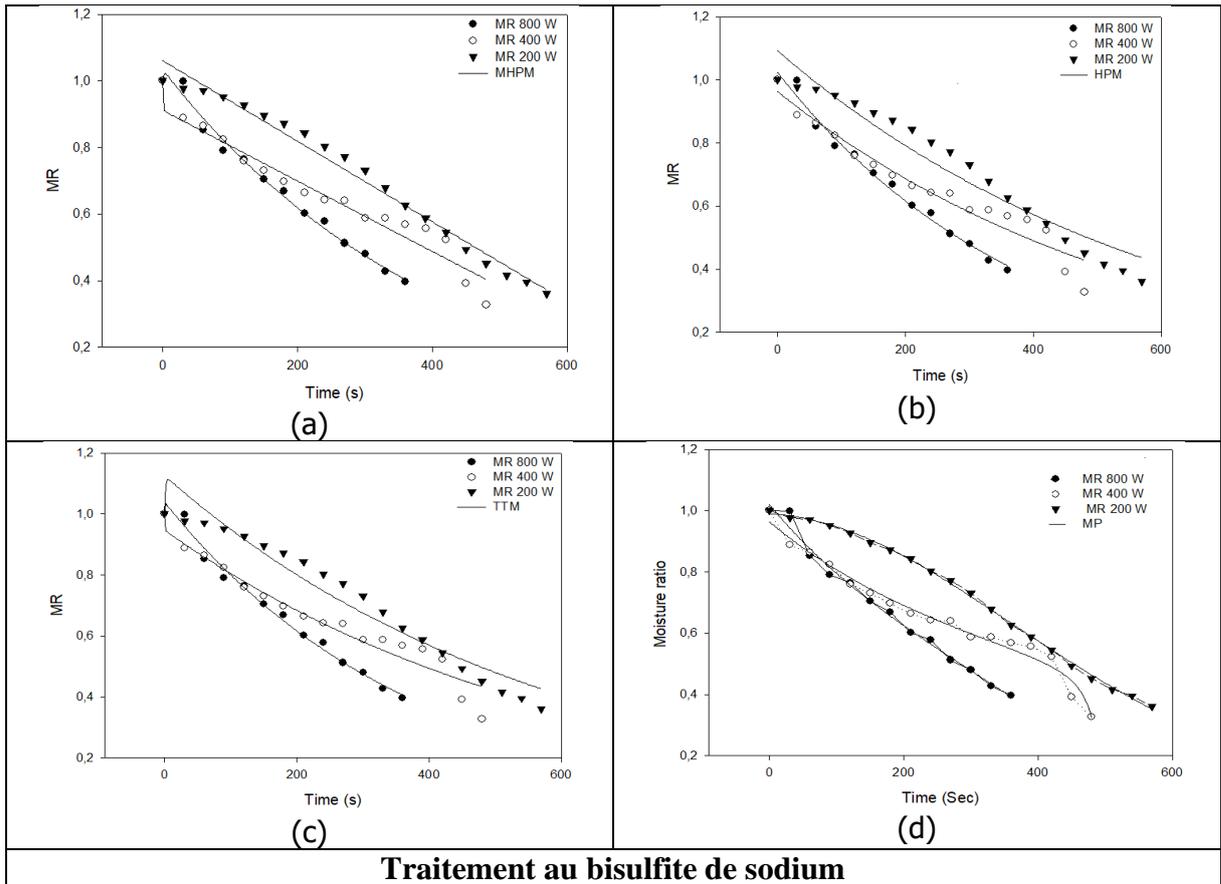


Figure 8 : Modélisation de la cinétique de séchage des abricots entiers traités séchés par micro-onde à différentes puissances (200, 400 et 800 W) : (a) Modified Henderson & Pabis Model, (b) Henderson-Pabis Model, (c) Two Term Model and (d) Proposed Model.

Tableau 5 : Modélisation de la cinétique de séchage des abricots traités au saccharose séchés par microonde.

M	Puissance (W)	Paramètres							Paramètres statistiques		
		a	K	b	K'	c	K''	d	R ²	χ ²	RMSE
1	200	64,425	9,13E-05	19,467	0,00025	-43,979	2,50E-15		0,992	1,26E-04	8,59E-05
	400	24,533	0,000183	-6,174	0,00050	-17,419	2,90E-13		0,983	1,23E-05	7,38E-06
	800	0,114	0,0477	-0,801	6,03E-10	1,686	0,0015		0,996	1,033E-05	4,134E-06
2	200	1,0232	0,0015						0,969	0,0005514	0,00049
	400	0,9874	0,0024						0,9595	0,0002022	0,00017
	800	0,9724	0,004						0,9911	2,04E-05	1,63E-05
3	200	0,145	0,8998	1,0317	0,0015				0,9702	0,000674	0,00053
	400	-0,083	2,31E-5	-65,508	8,71E-16				0,9833	3,05E-07	2,23E-07
	800	-7,296	2,2859	0,945	0,0038				0,9947	7,54E-05	4,52E-05
4	200	0,997		-0,0017		-0,0003		-1,826E-6	0,9985	4,793E-05	3,84E-05
	400	0,946		-0,0018		-0,0001		-1,74E-6	0,9846	3,448E-05	1,72E-05
	800	0,990		-0,003		-0,002		-1,24E-6	0,9946	4,600E-03	4,48E-03

MN: Model Name; 1: Modified Henderson & Pabis Model; 2: Henderson-Pabis Model; 3: Two Term Model; 4: Proposed Model.

Tableau 6 : Modélisation de la cinétique de séchage des abricots traités au NaCl séchés par microonde.

M	N	Power (W)	Paramètres						Paramètres statistiques		
			a	K	b	K'	c	K''	d	R ²	χ ²
1	200	-0,023	0,6307	0,8982	0,0011	0,1256	0,0085		0,9873	0,00025785	0,0001719
	400	8,430	0,0006	-2,5024	0,0017	-4,939	1,96E-13		0,9930	4,01E-06	2,41E-06
	800	-7,263	7,12E-17	18,2469	0,0001	0,0162	11,5651		0,9952	0,00037777	0,0001888
2	200	0,9872	0,0014						0,9831	3,86E-05	3,43E-05
	400	1,0561	0,0019						0,9527	0,00060574	0,000524
	800	1,0251	0,0028						0,9808	0,0003971	0,0003309
3	200	0,145	0,0058	0,8628	0,0011				0,9868	0,00012188	9,479E-05
	400	-0,083	0,7102	1,0836	0,0020				0,9614	0,00059726	0,0004379
	800	-7,296	1,26E-06	8,2874	0,0002				0,9949	0,00182246	0,0012149
4	200	1,012		-0,002		-0,0001		-3,70E-06	0,996	8,97E-04	6,98E-04
	400	0,996		-0,0016		-0,0007		7,35E-07	0,993	1,99299E-07	1,46E-07
	800	0,988		-0,0018		0,0001		9,02E-07	0,9949	3,1865E-06	2,12E-06

MN: Model Name; 1: Modified Henderson & Pabis Model; 2: Henderson-Pabis Model; 3: Two Term Model; 4: Proposed Model.

Tableau 7 : Modélisation de la cinétique de séchage des abricots traités au bisulfite de sodium séchés par microonde.

M	N	Puissance (W)	Paramètres						Paramètres statistiques		
			a	K	b	K'	c	K''	d	R ²	χ ²
1	200	-0,0238	2,33E-05	0,0889	29,6903	-44,7549	1,64E-15		0,9596	1,32E-04	9,26E-05
	400	8,4369	3,05E-16	-78,503	1,01E-16	158,0939	7,67E-06		0,9829	2,11E-03	1,37E-03
	800	-7,2631	0,8498	1,0924	0,0024	-0,0588	1,72E-11		0,990	4,87E-06	2,62E-06
2	200	1,0925	0,0016						0,9407	0,00037274	0,0003313
	400	0,9623	0,0017						0,9442	0,00064805	0,0005718
	800	1,0237	0,0025						0,988	5,2162E-05	4,1729E-5
3	200	-0,1255	0,7402	1,1255	0,0017				0,9899	0,00026758	0,0002140
	400	0,0535	84,5644	0,9465	0,0016				0,9484	0,00026758	0,0007403
	800	-0,0389	15,0223	1,0389	0,0026				0,9899	1,513E-05	1,048E-05
4	200	0,9905		-0,0009		-0,0007		2,55E-06	0,9895	4,79388E-05	3,84E-05
	400	0,9635		-0,002		-892E-05		7,9E-06	0,9811	0,006270471	4,80E-03
	800	1,0201		-0,0019		0,0008		-3,03E-06	0,9895	4,70535E-05	3,26E-05

MN: Model Name; 1: Modified Henderson & Pabis Model; 2: Henderson-Pabis Model; 3: Two Term Model; 4: Proposed Model.

Les trois modèles et le modèle proposé sont comparés en termes de valeurs du coefficient de détermination (R^2), du chi-deux réduit (χ^2) et de l'erreur quadratique moyenne (RMSE). Dans les conditions expérimentales étudiées, les valeurs de R^2 , χ^2 et RMSE sont respectivement comprises entre 0,9407 et 0,9989, 3,05E-07 et 0,00182246, et 2,23E-07 et 0,0012149. Les valeurs élevées de R^2 et les faibles valeurs de χ^2 et RMSE pour les trois modèles simulés, et le modèle proposé dans cette étude indiquent une bonne cohérence entre ces modèles et les résultats expérimentaux. Le modèle proposé a été choisi pour décrire de manière adéquate le comportement de séchage des abricots entiers traités avec du NaCl, du saccharose et du bisulfite de sodium à des puissances de micro-onde de 200 et 400 W, respectivement, en raison d'une valeur élevée de R^2 et de faibles valeurs de χ^2 et de RMSE (voir tableaux 5-7).

3.3.4. Test du temps prédictif

Après avoir testé les valeurs MR pour le temps expérimental et le temps prédit du modèle proposé avec trois traitements, il a été conclu que les mêmes valeurs pour MR_{exp} , MR_{pre} et MR_{preT} ont été obtenues, confirmant l'efficacité du modèle de temps (voir figure 9).

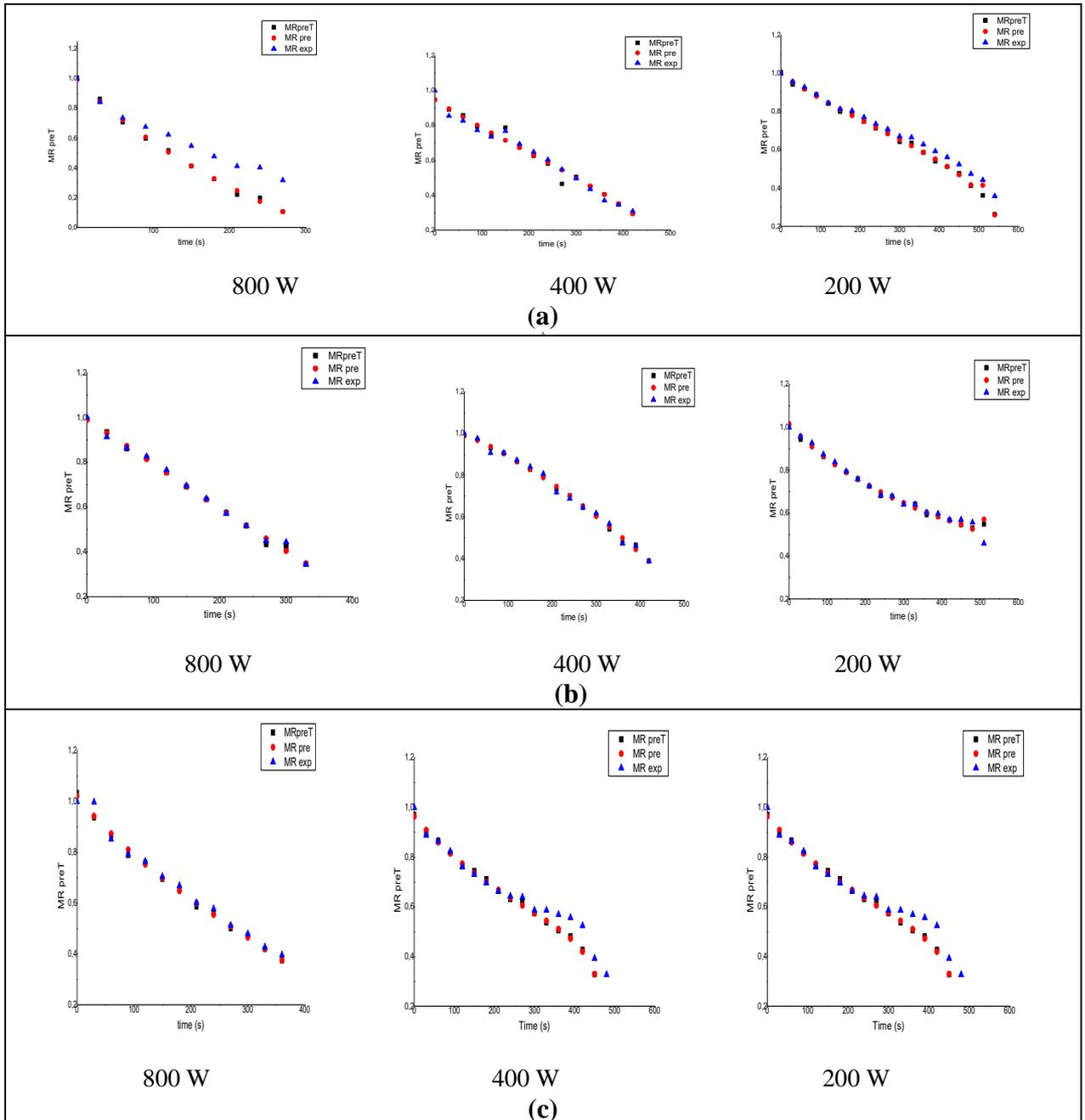


Figure 9 : Évolution du rapport d'humidité (MR) exp, pre, et preT par le modèle proposé en fonction du temps aux puissances (200, 400, et 800 W) et aux traitements de : (a : saccharose, b : NaCl et c : bisulfite de sodium).

3.3.5. Méthodes de prédiction du MR par RNA et SINFA

3.3.5.1. Modélisation par RNA

Dans cette étude, un réseau RNA a été utilisé pour prédire le MR. Pour obtenir de meilleurs résultats, le réseau de propagation de retour avec des algorithmes d'apprentissage (LM) a été choisi, après quoi ce réseau a été optimisé avec trois fonctions d'activation (tansig, logsig et purelin) (voir les figures 10 et 11) et également avec de nombreux neurones de la couche cachée (3 : 15). Cinq paramètres d'entrée, dont la puissance de micro-onde, le poids total des abricots, la teneur en eau, la teneur en matière sèche et le temps de séchage, et un paramètre de sortie est le rapport d'humidité. Ce modèle permet de mélanger les trois traitements (solution de saccharose, NaCl, et bisulfite de sodium), de créer un modèle unique adapté à chaque traitement, et de tester chaque traitement seul. Les résultats de la modélisation par RNA pour la prédiction du temps au mélange des trois traitements du MR sont présentés dans le tableau 8.

Tableau 8 : Performances des différentes architectures du RNA testée du MR.

MR	Network Architecture	Fonction d'activation		Coefficients de corrélation			RMSE		
		Couche cachée	Couche de sortie	Formation	Validation	TED	Formation	Validation	TED
Lm Levenberg-Marquard	[5-15-1]	Tansig	purelin	0,9996	0,9997	0,9996	0,0058	0,0052	0,0057
	[5-12-1]	Logsig	purelin	0,9995	0,9994	0,9995	0,0059	0,0062	0,0059

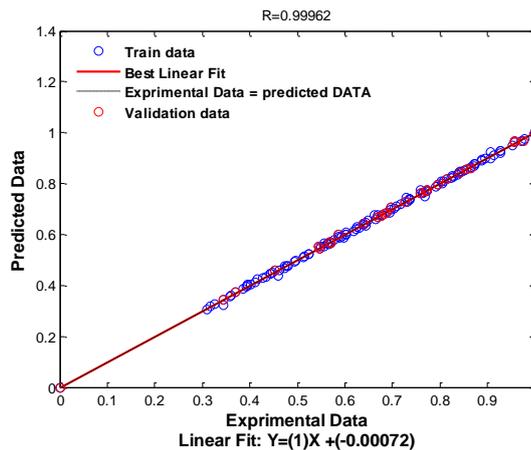


Figure 10 : Valeurs prédites par rapport aux valeurs expérimentales du MR tansig du modèle RNA de la phase de validation et formation.

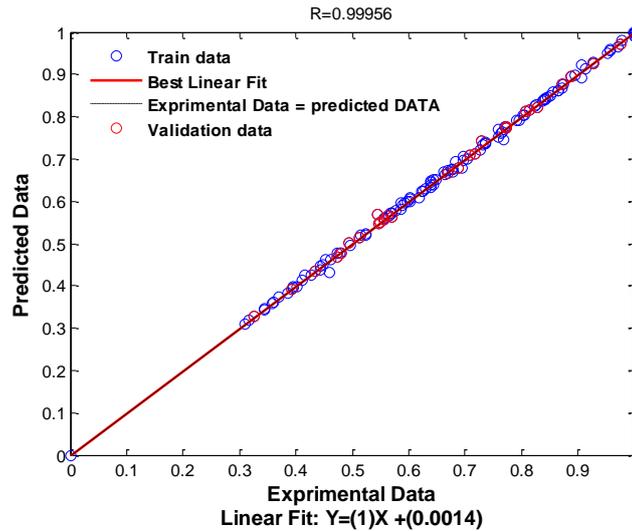


Figure 11 : Valeurs prédites par rapport aux valeurs expérimentales du MR logsig du modèle RNA de la phase de validation et formation.

D'après le tableau 8 et la figure 12, on peut voir qu'il n'y a pas beaucoup de différences entre les résultats obtenus, puisque les résultats sont presque égaux. L'architecture [5-12-1] a été choisie en fonction de la fonction d'activation logsig dans la couche cachée et de la fonction purelin dans la couche de sortie. L'architecture [5-12-1] a été choisie car leur nombre de paramètres étaient de 85 par contre l'architecture [5-15-1] qui était de 106 paramètres.

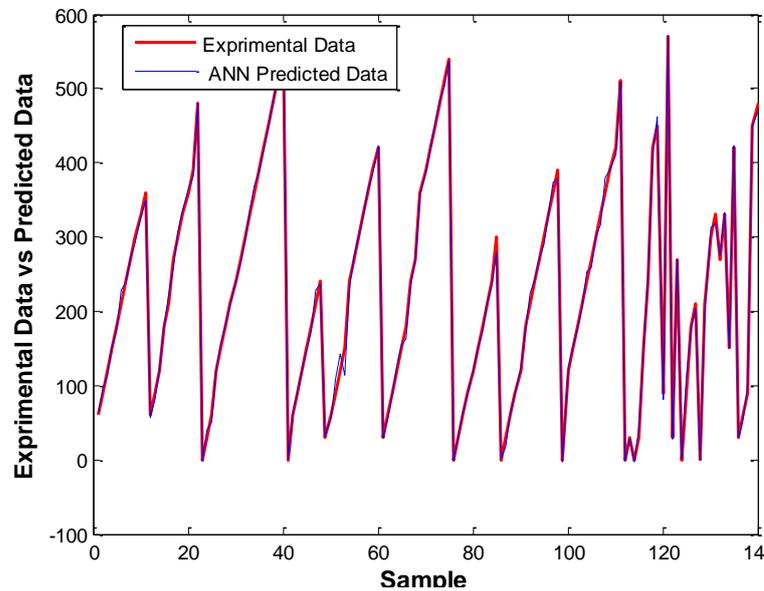


Figure 12 : Relation entre les données expérimentales du MR de la cinétique de séchage des abricots entiers traités et celles estimées par le modèle RNA.

Compte tenu de la valeur R^2 estimée très élevée et de la faible valeur RMSE pour les MR logsig et tansig, il a été conclu que le RNA peut être utilisé efficacement pour prédire la MR.

3.3.5.2. Modélisation par SINFA

Dans ce travail, les algorithmes de pondération, les fonctions (gbellmf) ont été choisis pour l'entrée et linéaire pour la sortie ainsi que de nombreux nœuds pour chaque entrée afin d'obtenir le bon résultat. Cinq paramètres d'entrée, dont la puissance de micro-onde, le poids total des abricots, la teneur en eau, la teneur en matière sèche et le temps de séchage, et un paramètre de sortie est le rapport d'humidité. La technique de prédiction par SINFA a été utilisée pour prédire la MR.

Le tableau 9 révèle les meilleurs algorithmes pour le réseau SINFA, et les valeurs élevées de R^2 et faibles valeurs de RMSE pour MR formation, MR validation et MR TED, indiquent une bonne adéquation ou performance et suggèrent que le SINFA peut être utilisé efficacement pour prédire la MR. Outre la qualité des données, l'efficacité d'une prédiction SINFA typique dépend également du nombre de lignes et de colonnes de données d'entrée. Les résultats de la modélisation du SINFA pour la prédiction la MR au mélange de trois traitements sont présentées dans le tableau 9. On a constaté que l'architecture [2 2 2 2 2] du modèle SINFA de (MR) formation a donné la RMSE le plus faible (0,0063) et une valeur élevée de R^2 (0,99951) par rapport les modèles : SINFA (MR)TED et SINFA (MR)Validation, respectivement, mais ces valeurs sont plus proches des autres. Les résultats prédits ont été tracés par rapport aux valeurs expérimentales, comme le montrent les figures 13 et 14.

Tableau 9 : Performances des différentes architectures du SINFA testée de MR.

ANFIS		Type MF		Train FIS	Coefficients de corrélation			RMSE		
	Nombre de MF _s	Entrée	Sortie	Méthode d'optimisation	Formation	Validation	TED	Formation	Validation	TED
<i>MR</i>	[2 2 2 2 2]	<i>Gbellmf</i>	<i>linear</i>	<i>Hybrid</i>	0,99951	0,99867	0,99937	0,0063	0,0096	0,0071

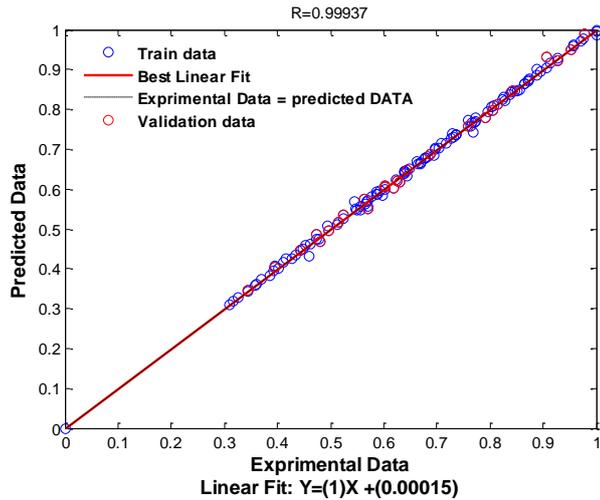


Figure 13 : Valeurs prédites par rapport aux valeurs expérimentales du MR du modèle SINFA de la phase de validation et formation.

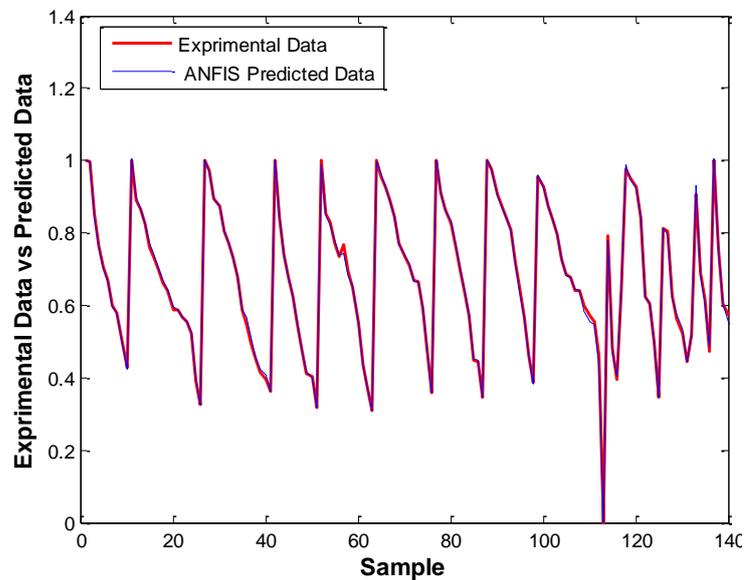


Figure 14 : Relation entre les données expérimentales du MR de la cinétique de séchage des abricots entiers traités et celles estimées par le modèle SINFA.

3.3.6. Comparaison entre le MR du modèle proposé et le MR de deux modèles d'intelligence artificielle RNA et SINFA

La comparaison entre les trois modèles est basée sur les paramètres statistiques (R^2 et RMSE) et le nombre des paramètres de chaque modèle. Les tableaux 10 et 11 montrent les trois modèles mélangés et associés aux trois traitements (saccharose, NaCl et bisulfite de sodium) et non mélangés, respectivement.

Selon le tableau 10, le modèle RNA contient un coefficient de corrélation plus élevé ($R^2 = 0,9991$) et une faible valeur RMSE (0,0059), suivi par SINFA ($R^2 = 0,9950$, RMSE = 0,0071) et enfin le modèle proposé ($R^2 = 0,9947$, RMSE = 0,0878), mais ces valeurs sont plus proches les unes des autres et il n'y a pas de différence significative entre elles. Selon le nombre des

paramètres, le modèle proposé est le plus approprié pour le séchage de l'abricot entier traité, car il contient 4 paramètres, suivi par RNA (85 paramètres) et enfin SINFA (309 paramètres).

Selon le tableau 11, les valeurs R^2 et RMSE de modèle SINFA sont le plus appropriés pour décrire les abricots séchés traités au saccharose, le modèle proposé aux abricots traités au NaCl et le modèle RNA aux abricots traités au bisulfite de sodium. Cependant, selon le nombre des paramètres, le modèle proposé est le plus approprié pour le séchage des abricots entiers traités puisqu'il contient 4 paramètres. Le modèle proposé peut être principalement utilisé dans de futures études dans les industries de production agroalimentaires car il est peu coûteux (4 paramètres). Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par **Jahanbakhshi et al. (2020)**, qui ont utilisé les modèles RNA et SINFA pour prédire le comportement de séchage de l'amande de pistache dans le séchoir à micro-ondes en utilisant le prétraitement ultrasons de Midilli et al. et en analysant l'effet des variables indépendantes indirect dans la prédiction du rapport d'humidité de l'amande de pistache. Ils ont rapporté que le modèle SINFA était meilleur que le modèle RNA en termes de R^2 plus élevé et de RMSE plus faible. **Abbaspour-Gilandeh et al. (2019)**, ont prédit la cinétique, l'énergie et l'exergie du coing dans le séchoir à air chaud en utilisant RNA et SINFA. Le modèle SINFA a montré une meilleure capacité à prédire ces paramètres que les réseaux de neurones artificiels.

Tableau 10 : Comparaison entre le MR du modèle proposé et le MR de deux modèles d'intelligence artificielle RNA et SINFA à trois traitements mixtes (saccharose, NaCl, et bisulfite de sodium).

Modèle	RMSE	MAE	R	R^2	R^2_{adj}
Modèle proposé (MR)	0,0878	0,0215	0,9973	0,9947	0,9909
RNA (MR)	0,0059	0,0039	0,99956	0,9991	0,9991
SINFA (MR)	0,0071	0,0046	0,99937	0,99500	0,9987

Tableau 11 : Comparaison entre le MR de modèle proposé et le MR de deux modèles d'intelligence artificielle RNA et SINFA à trois traitements non mélangés à 200, 400 et 800 W.

Les prétraitements et les puissances de microonde	Modèle proposé		RNA		SINFA	
Saccharose 200 W	RMSE	0,29334845	RMSE	1,1306E-05	RMSE	8,57052E-08
	R^2	0,99817254	R^2	0,99999993	R^2	0,999999998
	RMSE	4,1564E-07	RMSE	0,00864375	RMSE	0,00051987
400 W	R^2	0,99999998	R^2	0,99998547	R^2	0,9999739
800 W	RMSE	0,37801268	RMSE	0,00400916	RMSE	2,29682E-07
	R^2	0,95952499	R^2	0,99999456	R^2	0,999999975
NaCl 200 W	RMSE	6,3983E-05	RMSE	0,12055309	RMSE	0,00149693
	R^2	0,99999957	R^2	0,99999098	R^2	0,99995703
	RMSE	1,7896E-05	RMSE	0,00041066	RMSE	0,00020181
400 W	R^2	0,99999933	R^2	0,99998454	R^2	0,9999924
800 W	RMSE	0,00048178	RMSE	0,00264449	RMSE	0,00010973
	R^2	0,9999515	R^2	0,99999845	R^2	0,99999298
Bisulfite de sodium 200 W	RMSE	0,00981046	RMSE	0,0041978	RMSE	0,00087767
	R^2	0,99974863	R^2	0,99999783	R^2	0,99997751
	RMSE	0,10634142	RMSE	0,00116169	RMSE	0,00127885
400 W	R^2	0,99583571	R^2	0,99995451	R^2	0,99994992
800 W	RMSE	0,00273393	RMSE	0,18713204	RMSE	0,00036377
	R^2	0,99984963	R^2	0,99999751	R^2	0,99997999

3.4. Conclusion

Les résultats obtenus ont montré que la simulation des données expérimentales indique que sur les vingt modèles semi-empiriques utilisés, le meilleur ajustement a été obtenu pour trois modèles nommés Modified Henderson & Pabis, Henderson-Pabis, et Two Term. La comparaison de ces modèles avec le nouveau modèle proposé, RNA et SINFA, basée sur les valeurs R^2 et RMSE, a confirmé que les données de la cinétique de séchage étaient parfaitement décrites par ces trois derniers modèles. Le modèle proposé et les deux modèles de l'intelligence artificielle RNA et SINFA étaient plus proches les uns des autres par leurs valeurs R^2 et RMSE.

Le modèle proposé utilise moins des paramètres (4 paramètres) que les autres modèles, ce qui indique que ce modèle sera plus applicable dans les industries agroalimentaires.

Chapitre 4

*Effet de séchage par
microonde sur les
paramètres physico-
chimiques des produits
élaborés*

Résumé

Ce travail est basé sur l'élaboration des abricots séchés par microonde à différentes puissances (200, 400 et 800 W) traités préalablement aux solutions de : saccharose, NaCl et bisulfite de sodium. Les propriétés physicochimiques des abricots séchés sont étudiées. Le pH, l'acidité titrable, les sucres totaux, les sucres réducteurs et le saccharose sont déterminés. L'analyse statistique a révélé que les traitements des abricots et la puissance de four à microonde de séchage exerçaient une influence sur les paramètres étudiés. Une puissance de séchage : de 200, 400 et 800 W a entraîné une variation significative et/ou une perte des propriétés physicochimiques et nutritionnelles du fruit ; en outre, l'acidité du fruit séché est augmentée lors du procédé de séchage. Des altérations des propriétés physico-chimiques et nutritionnelles du fruit séché ont été survenues à des puissances de séchage de 200 et 400W, ce qui a permis la production des produits séchés de haute qualité.

Mots clés : Prétraitements, séchage, pH, acidité titrable, sucres totaux, sucres réducteurs.

4.1. Introduction

L'abricot est considéré comme l'un des fruits tempérés les plus consommés en raison de sa saveur et de sa haute qualité nutritionnelle. Les abricots peuvent être consommés sous forme de fruits frais entiers, jus du fruit, de fruits séchés, purée de fruits, confiture, marmelade, vinaigre et pâte d'abricot. Il est riche source de glucides et de minéraux en plus d'avoir une couleur attrayante et une saveur typique. Les sucres sont les principaux constituants. L'abricot est également une bonne source de minéraux comme le potassium et le fer. Le séchage par micro-onde ou sa combinaison avec séchage à l'air chaud, peut être des alternatives utiles, nécessitant un temps de traitement plus court et, par conséquent, avoir un impact moindre sur la texture, la couleur, la saveur et la valeur nutritive de l'abricot séché (**García-Martínez et al., 2013**). Le comportement de séchage et cinétique des d'abricots entiers ont été étudiés par microonde à 200, 400 et 800W. Le séchage par microonde a été effectuée lorsque la teneur en eau a atteint 5 % (base humide) à partir de 85,93 % (base humide de fruit). La teneur en eau des abricots séchés est d'une importance primordiale en raison de l'effet de conservation de la réduction de l'humidité sur le fruit (**Hui, 2010**). Les abricots secs sont importants sur le plan nutritionnel en raison de leurs teneurs appréciables en composés phénoliques, caroténoïdes et fer, qui est un oligo-élément essentiel (**Sakooei-Vayghan et al., 2021**).

L'objectif de cette partie était de : (1) Élaborer des produits séchés à base d'abricot traités aux solutions de : saccharose, NaCl et bisulfite de sodium (abricots séchés) par microonde et élaboration de pâte d'abricots séchée par four électrique. (2) Étudier l'effet de séchage par micro-onde sur les propriétés physicochimiques des produits séchés élaborés.

4.2. Matériel et méthodes

4.2.1. Méthode de préparation des abricots séchés et pâte d'abricot

4.2.1.1. Préparation des abricots entiers

Les abricots frais sont préparés comme suit :

- Laver et égoutter les abricots ;
- Dénoyer les fruits au moyen d'un vide fruit ;
- Tremper les fruits d'abricots dans des solutions différentes : solution de saccharose à 60° Brix, une solution de NaCl à 6% pendant 18 heures et l'autres tremper dans une solution de bisulfite de sodium à 6% pendant 30 minutes ;
- Rincer les échantillons traités à l'eau chaude et froide à température ambiante pour éliminer les traces de saccharose, NaCl et bisulfite de sodium ;
- Après, égoutter les fruits traités ;
- Sécher les abricots égouttés aux microondes, à différentes puissances 200, 400 et 800 W ;

Le procédé de fabrication des abricots traités et séchés (ATS) par microonde est résumé sur la figure 1.

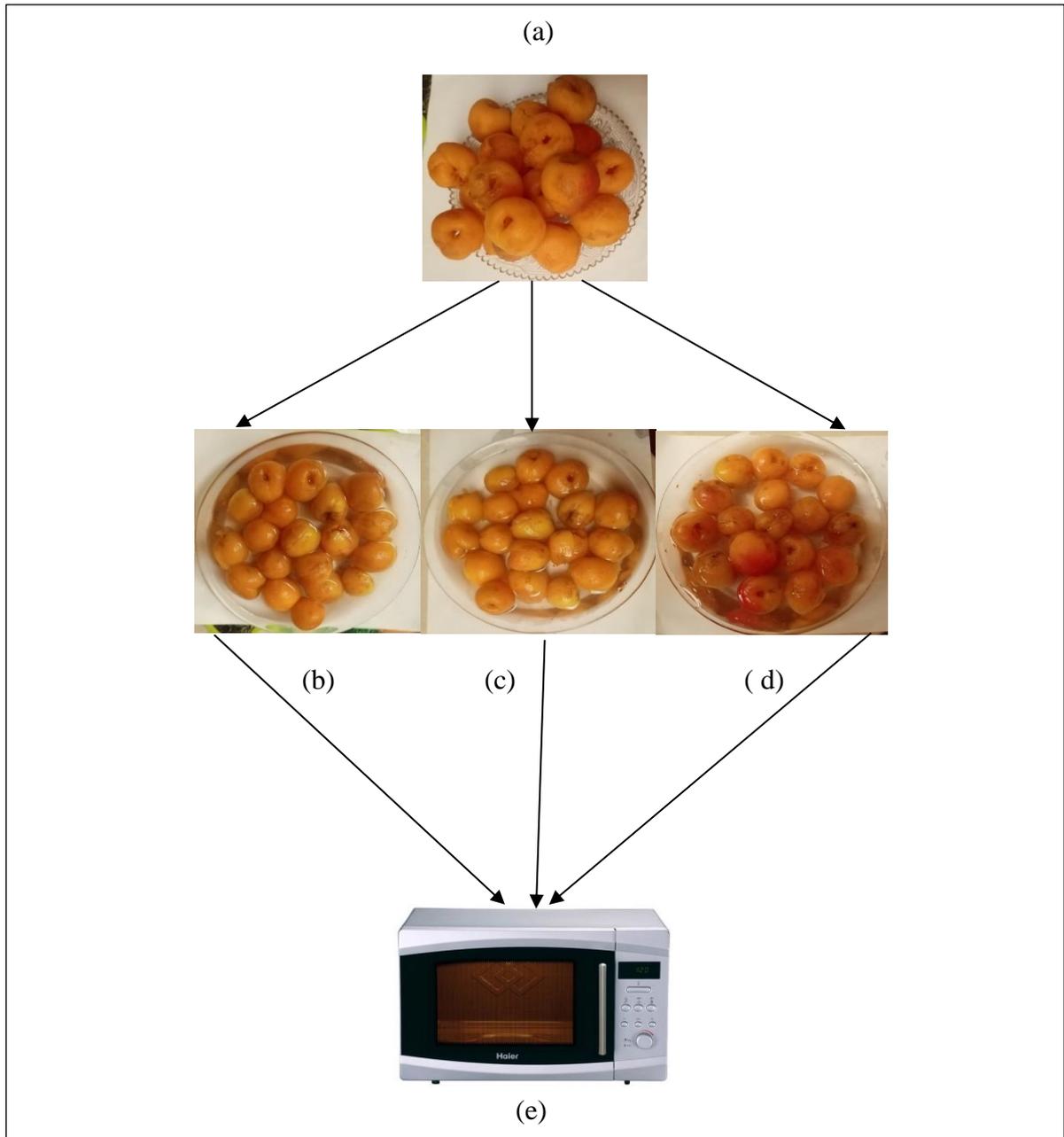


Figure 1. Étapes de préparation des abricots traités et séchés par microonde.

- a : Lavage + dénoyautage des abricots ;
- b : Traitement des abricots par solution de saccharose (60° Brix) ;
- c : Traitement des abricots par solution de NaCl (6%) ;
- d : Traitement des abricots par la solution de bisulfite de sodium (6 %) ;
- e : Séchage des abricots traités par microonde à différentes puissances (200, 400 et 800 W).

4.2.1.2. Préparation de pâte d'abricot

L'élaboration de la pâte d'abricot a été réalisé comme suit :

- **Préparation de pâte d'abricot** : Broyage des abricots au mixeur sous forme de purée ;
- **Préparation du sirop** : 150 g de sucre (saccharose) + 150 g de sirop de glucose + 25ml d'eau, ensuite chauffage jusqu'à ébullition ;

- Verser la purée d'abricot dans un récipient, ajouter le sirop de sucre, porter sur le feu, bien mélanger jusqu'à concentration de 60°Brix ;
- Ajouter 1g d'acide citrique par 1 kg ;
- Couvrir un plat allant au four de papier sulfurisé, couvrir d'une fine couche d'huile ;
- Couler le mélange d'abricots sur un plateau de four, puis le répartir sur une couche de 0,5cm ;
- Sécher la pâte d'abricot par four électrique à 60°C, pendant 15 minutes.

Le procédé de fabrication de la pâte d'abricot est résumé dans la figure 2.

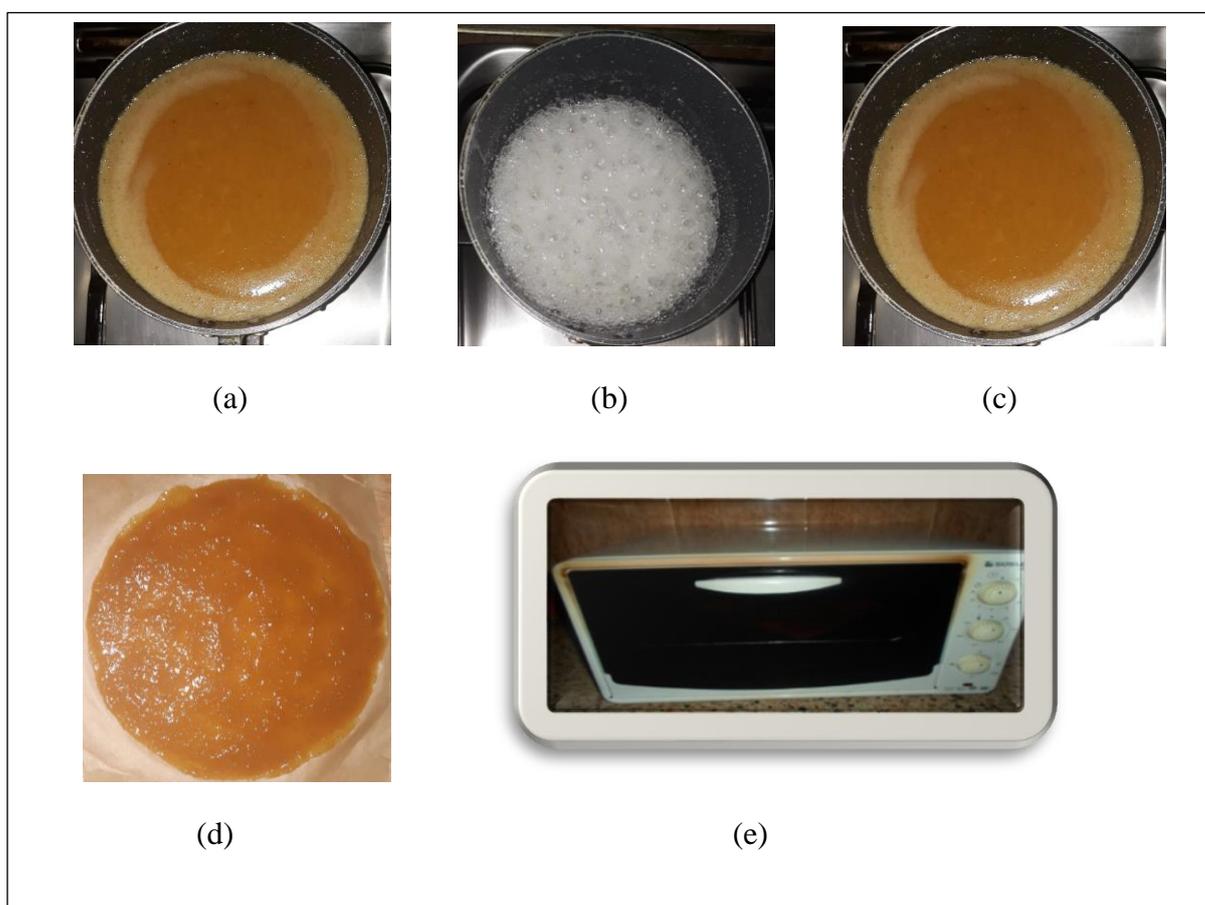


Figure 2. Étapes de préparation de la pâte d'abricot séchée au four électrique.

- a : Abricots broyés ;
- b : Ajout de sirop de saccharose ;
- c : Mélange des abricots acidifiés par 1g de l'acide citrique ;
- d : Concentration de la pâte d'abricot jusqu'à 60°Brix ;
- e : Séchage la pâte par four électrique, type SUSLER pendant 15 min à 60° C.

4.2.2. Effet de séchage sur les paramètres physico-chimiques des produits élaborés

4.2.2.1. pH (NF V 05-108, 1970).

*** Principe**

Détermination en unités de pH de la différence de potentiel existant entre deux électrodes en verre plongées dans une solution aqueuse d'extrait d'abricot séché et pâte d'abricot broyée.

*** Mode opératoire**

- Couper en petits morceaux une partie de l'échantillon ;
- Placer le produit dans un bécher et y ajouter trois fois son volume d'eau distillée ;
- Chauffer au bain-marie pendant 30 mn à 70° C en remuant de temps en temps avec une baguette de verre ;
- Broyer ensuite le mélange obtenu dans un mortier et procéder à la détermination du pH (Type, INOLAB) en prenant soins que l'électrode soit complètement immergée dans la solution.

4.2.2.2. Acidité titrable AT (NF V 05-101, 1974).

Titration de l'acidité des solutions aqueuses des abricots séchés et pâte d'abricot avec une solution d'hydroxyde de sodium en présence de phénolphthaléine comme indicateur de coloration.

*** Mode opératoire**

- Peser à 0,01g près au moins 25 g d'abricots séchés et la pâte d'abricots broyées ;
- Placer l'échantillon dans une fiole conique avec 50 ml d'eau distillée chaude récemment bouillie et refroidie, puis mélanger jusqu'à l'obtention d'un liquide homogène ;
- Adapter un réfrigérant à reflux à la fiole conique puis chauffer le contenu au bain-marie pendant 30 mn ;
- Refroidir, transvaser quantitativement le contenu de la fiole conique dans une fiole jaugée de 250 ml et compléter jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée récemment bouillie et refroidie, bien mélanger puis filtrer ;
- Prélever à la pipette 25 ml du filtrat et les verser dans un bêcher ;
- Ajouter 0,25 à 0,5ml de phénolphthaléine et tout en agitant, titrer avec de la solution d'hydroxyde de sodium 0,1 N jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistante pendant 30 secondes.

***Expression des résultats**

L'acidité titrable est exprimée en grammes d'acide malique pour 100 g du produit :

$$AT (\%) = \frac{250 \times V_1 \times N \times 100}{V_0 \times M} \times 0,134 \quad (3)$$

Soit :

M : Masse en g de produit prélevé (25 g) ;

V₀ : Volume en ml de la prise d'essai (25 ml) ;

V₁ : Volume en ml de NaOH épuisé pendant la titration ;

N : Normalité de NaOH utilisée pour le titrage (0,1 N) ;

0,134 : Facteur de conversion de l'acidité titrable en équivalent d'acide malique.

4.2.2.3. Taux des solides solubles (TSS %) (AFNOR : V05-109,1970)

L'indice réfractométrique est basé sur la réfraction de la lumière, les réfractomètres donnent par simple lecture l'extrait sec soluble d'un liquide sucré de la pâte d'abricot pour une température déterminée.

*** Mode opératoire**

- Extraire le jus de la pâte d'abricot puis le filtrer ;
- Placer une goutte de jus sur la surface du prisme ;
- Lire directement la valeur indiquée.

4.2.2.4. Sucres totaux (Méthode du Dubois)

*** Principe**

La méthode du Dubois permet de doser les oses en utilisant le phénol et l'acide sulfurique concentré. En présence de ces deux réactifs, les oses donnent une couleur jaune crème, dont l'intensité est proportionnelle à la concentration des sucres totaux.

*** Mode opératoire**

- L'extraction des sucres : 1 g des abricots séchés et 1 g de pâte d'abricot dans 50 ml d'eau distillée, porter à 70°C pendant 30 min dans un bain marie, puis filtration ;
- Dans des tubes à essai, on met :
 - 0,5 ml de la solution à doser ;
 - 0,5 ml de la solution de phénol à 5 % ;
 - 3 ml d'acide sulfurique concentré ;
- Mélanger bien le milieu, puis l'introduire dans un bain marie à 70°C pendant 5min ;
- Laisser refroidir pendant 15 min à l'obscurité et à la température ambiante ;
- La lecture se fait dans un spectrophotomètre UV Visible (UV-1600PC) à une longueur d'onde égale à 490 nm (Voir annexe 2, figure 1).

4.2.2.5. Sucres réducteurs

***Principe**

Les sucres solubles ont été extraits des jus des abricots séchés et de la pâte d'abricot puis dosés selon la méthode colorimétrique au DNS (l'acide 3,5-dinitrosalicylique) de Fischer et Stein (1961), selon le principe fondé sur le fait qu'en milieu alcalin et à chaud, le DNS réagit avec les sucres libres et passe de sa forme oxydée jaune à sa forme orangée présentant un maximum d'absorption à 540 nm. La coloration développée est proportionnelle à la concentration en sucres du milieu (Miller, 1959).

*** Mode opératoire**

- L'extraction des sucres : mettre 1 g de matière des abricots séchés et de pâte d'abricot dans 50 ml d'eau distillée, porter à 70°C pendant 30 min dans un bain marie, puis filtrer ;

- Dans des tubes à essai, introduire :

* 1 ml d'extrait de l'abricot séché et d'extrait de pâte d'abricot ;

* En même temps, une série de solutions d'étalonnage de concentrations comprises entre 0,5 - 2 mg/ml est préparé dans des tubes à essai, à partir d'une solution-mère de glucose à 2% ;

*Ajouter à la gamme étalon et les tubes d'échantillon : 1 ml de solution de DNS ;

*Porter au bain marie à 100°C pendant 10 min ; puis refroidir immédiatement dans un bain de glace ;

* Ajouter 10 ml d'eau distillée dans chaque tube à essai et lire la densité à 540 nm, à l'aide d'un spectrophotomètre UV Visible (Voir annexe 2, figure 2).

4.2.2.6. Saccharose

La teneur en saccharose est obtenue par la différence entre la teneur en sucres totaux et les sucres réducteurs présents dans l'échantillon.

$$\text{Saccharose (\%)} = \text{Sucres totaux (\%)} - \text{Sucres réducteurs (\%)} \quad (2)$$

4.2.3. Etude statistique

Les données expérimentales ont été exprimées sous forme de moyennes \pm écarts types. Toutes les déterminations ont été réalisées en triplicatas. Une analyse statistique des résultats a été réalisée à l'aide du logiciel XLStat 2014. Une hypothèse de moyenne égale a été testée par analyse de variance (ANOVA). La moyenne était significativement différente en comparaison avec le test de Duncan ($p \leq 0,05$).

4.3. Résultats et discussion

4.3.1. Élaboration des abricots séchés et pâte d'abricot

Les abricots prétraités par le saccharose, le sel de table et le bisulfite de sodium et séchés sont présentés sur le tableau 1.

Tableau 1 : Gamme des abricots traités et séchés par microonde.

Traitement	Abricot sec		
Saccharose (60° Brix)			
	Séché à 200 W	Séché à 400 W	Séché à 800 W
	NaCl (6%)		
Séché à 200 W		Séché à 400 W	Séché à 800 W
Bisulfate de sodium (6 %)			
	Séché à 200 W	Séché à 400 W	Séché à 800 W

La pâte d'abricot obtenue est montrée sur la figure 3.



Figure 3 : Pâte d'abricots.

4.3.2. Effet de séchage sur les paramètres physico-chimiques des produits élaborés

Les résultats d'effet de séchage sur le pH et l'acidité titrable des abricots séchés élaborés et la pâte d'abricots sont mentionnés sur le tableau 2.

Tableau 2 : Effet de séchage sur les valeurs du pH et l'acidité titrable (AT) des produits séchés élaborés.

Produit	pH	AT(%)
Abricot frais	4,13± 0, 00 ^{ab}	3,77 ±0,57 ^a
1	4,35 ± 0,01 ^{ab}	0,62 ± 0,13 ^g
2	3,98 ± 0,005 ^b	1,82 ±0,06 ^c
3	4,23 ±0,005 ^{ab}	1,63± 0,00 ^d
4	4,32 ±0,005 ^{ab}	1,4± 0,00 ^e
5	4,09±0,032 ^{ab}	1,63± 0,23 ^d
6	4,33 ± 0,005 ^{ab}	0,73± 0,06 ^f
7	4,07 ± 0,017 ^{ab}	1,75± 0,20 ^c
8	4,33 ± 0,011 ^{ab}	2,02± 0,13 ^b
9	4,87 ±0,015 ^a	2,64± 0,26 ^b
Pâte d'abricots	3,98 ±0,005 ^b	1,90± 0,06 ^c

1 : Abricot prétraité par de saccharose et séché à 800 W, 2 : Abricot prétraité par de saccharose et séché à 400 W, 3 : Abricot prétraité de saccharose et séché à 200 W, 4 : Abricot de prétraité de NaCl et séché à 800 W, 5 : Abricot de NaCl séché à 400 W, 6 : Abrico prétraité t de NaCl séché à 200 W, 7 : Abricot prétraité de bisulfite de sodium et séché à 800 W, 8 : Abricot prétraité de bisulfite de sodium et séché à 400 W , 9 : Abricot prétraité de bisulfite de sodium et séché à 200 W.

a, ab, b, c, d, e , f, g: dans chaque colonne, les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes au seuil de $p < 5\%$ (Test de Duncan).

En général, selon les résultats obtenus, il n'existe pas une différence significative entre le pH d'abricot frais et celui séché par micro-onde à différentes puissances, sauf pour à l'abricot traité au saccharose et séché à la puissance de 400 W et la pâte d'abricot séchée au four électrique, on observe une différence significative. Ce qui explique que le séchage par microonde n'influe pas sur le pH des produits séchés élaborés, contrairement aux séchages d'abricot traités au saccharose à puissance de 400W et la pâte d'abricot séchée au four électrique, ces deux derniers provoquent une diminution du pH.

L'acidité titrable est directement liée à la concentration d'acides organiques présents dans les fruits. Les acides organiques existent en tant qu'acides libres, anions (malate) où combinés

sous forme de sel (bitartate de potassium) et d'esters comme l'acétate d'isopentyle (**Ishaq et al., 2009**).

Selon les résultats obtenus, une diminution de l'acidité titrable est observée pour l'abricot traité séché, ce qui illustre l'effet des prétraitements, les puissances de microonde appliquées sur ce paramètre et les changements métaboliques dans les fruits. Les plus faibles valeurs de l'AT correspondent à l'abricot sucré séché à 800 W et les abricots salés séchés à 200 W, avec une différence significative. L'abricot traité au bisulfite de sodium séché à 200 et 400 W préserve mieux le taux de l'AT (2,64 et 2,022 %, respectivement). L'acidité ne s'évapore pas pendant le séchage, donc le fruit séché est normalement plus acide que le frais (**Cheftel et al., 1979**).

Les résultats de l'effet de séchage sur les teneurs en sucres totaux, sucres réducteurs et saccharose des produits séchés élaborés sont mentionnés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Effet de séchage sur les teneurs des sucres totaux, sucres réducteurs et saccharose des produits séchés élaborés (abricots séchés et pâte d'abricots).

Produit	Sucres totaux	Sucres réducteurs	Saccharose
Abricot frais*	10,74 ± 0,24 ^g	3,77 ± 0,09 ^g	7,03 ± 1,97 ^f
1**	15,50 ± 5,09 ^e	4,77 ± 0,73 ^{fg}	10,72 ± 3,05 ^{de}
2**	21,07 ± 0,31 ^c	18,70 ± 1,52 ^b	2,36 ± 0,85 ^h
3**	14,85 ± 0,77 ^{ef}	9,63 ± 4,69 ^{de}	5,22 ± 2,77 ^g
4**	11,39 ± 0,49 ^f	7,36 ± 0,01 ^e	4,03 ± 0,4 ^{gh}
5**	27,00 ± 3,10 ^b	6,31 ± 0,01 ^{ef}	20,69 ± 0,64 ^b
6**	29,15 ± 1,36 ^{ab}	21,41 ± 4,09 ^a	7,74 ± 1,93 ^f
7**	31,60 ± 3,65 ^a	5,56 ± 1,80 ^f	25,95 ± 1,30 ^a
8**	30,34 ± 3,40 ^{ab}	16,76 ± 0,52 ^c	13,58 ± 2,03 ^c
9**	22,58 ± 4,22 ^c	11,25 ± 2,69 ^d	11,33 ± 1,07 ^d
Pâte d'abricots**	17,03 ± 0,02 ^d	7,98 ± 2,47 ^e	9,04 ± 1,73 ^e

* :g /100 g PF, ** : g/100g MS, 1 :Abricot subis un traitement de saccharose séché à 800 W, 2 :Abricot subis un traitement de saccharose séché à 400 W, 3 : Abricot subis un traitement de saccharose séché à 200 W, 4 :Abricot subis un traitement de NaCl séché à 800 W, 5 : Abricot subis un traitement de NaCl séché à 400 W, 6 :Abricot subis un traitement de NaCl séché à 200 W, 7 :Abricot subis un traitement de bisulfite de sodium séché à 800 W, 8 : Abricot subis un traitement de bisulfite de sodium séché à 400 W et 9 : Abricot subis un traitement de bisulfite de sodium séché à 200 W.

a, ab, b, bc , c, d, e ,ef, f,fg, g,gh, h: dans chaque colonne, les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes au seuil de p < 5% (Test de Duncan).

D'après le tableau 2, On observe une augmentation importante des sucres totaux et sucres réducteurs des produits séchés élaborés par microonde à différentes puissances par rapport à la matière fraîche (abricot), avec une différence significative, cette augmentation correspond à la

concentration des sucres contenus dans les abricots séchés par microonde (élimination de H₂O par séchage). Donc le séchage influe positivement sur la teneur en sucres totaux et sucres réducteurs des produits séchés élaborés. Les teneurs en sucres les plus importantes sont enregistrées par les abricots traités au bisulfite de sodium séchés à 800 et les abricots traités par NaCl séchés à 200 W, avec des valeurs de :31,60 et 21,41 g/100g MS, respectivement. D'autre part les teneurs les plus faible de ces éléments (sucres totaux et sucres réducteurs) sont liées à l'abricot traité par NaCl séché à 800 W et les abricots traités par saccharose séchés à 800 W, avec des valeurs de : 11,39 et 4,77 g/100g MS respectivement.

En ce qui concerne les teneurs en saccharose, une augmentation de sa teneur pour les abricots traités séchés par microonde à différentes puissances de microonde (200, 400 et 800W) par rapport à la matière fraîche (abricot) avec une différence significative, sauf aux abricots traités par solution de saccharose séchés à 400 et 200 W et les abricots traités par solution de NaCl séchés à 800W, où une diminution de ces éléments par rapport à la matière fraîche, cette diminution correspond que le séchage influe négativement sur ces éléments. La teneur en saccharose la plus importante est enregistrée par les abricots traités par solution de bisulfite de sodium séchés à une puissance de 800 W (25,95g/100 g MS). D'autre part la teneur la plus faible en saccharose est liée aux abricots traités au solution de saccharose séchés à 400 W, avec une valeur de 2,36 g/ 100 g MS.

4.4. Conclusion

Dans la présente étude, nous avons élaboré à partir d'abricot traités par solutions de : saccharose, NaCl et bisulfite de sodium des produits séchés par microonde à différentes puissances (200, 400 et 800 W). Les paramètres physicochimiques (pH, AT, teneurs en sucres totaux, sucres réducteurs et saccharose) de ces produits ont été déterminés. En comparant nos résultats avec le produit frais, il a été observé une augmentation de la teneur en sucres totaux, sucres réducteurs et de saccharose (sauf aux abricots traités par solution de saccharose séchés à 400 et 200 W et les abricots traités par solution de NaCl séchés à 800W) et une diminution des valeurs d'AT avec l'augmentation de la puissance de microonde. Cette variation n'a pas affecté significativement la qualité physico-chimique des produits séchés.

Chapitre 5

Effet de séchage
sur l'activité
antioxydante et la
couleur des produits
élaborés

Résumé

Cette étude a été réalisée afin de vérifier l'influence des paramètres de séchage sur les composés phénoliques, flavonoïdes et l'activité antioxydante d'abricots (*Prunus armeniaca* L.) traités par solutions de : saccharose, NaCl et bisulfite de sodium séchés par microonde à différentes puissances (200, 400 et 800 W). En utilisant deux méthodes d'extraction : (1) macération à froid ; (2) extraction par ultrasons. L'analyse des données montre que la diminution de la teneur en polyphénols et flavonoïdes des abricots traités séchés par apport à la matière fraîche est significative. Les pertes les plus importantes de ces éléments nutritifs sont enregistrées à la méthode d'extraction par ultrasons. Par contre il y a augmentation de taux d'activité antioxydante des produits séchés par apport à la matière fraîche par deux méthodes d'extraction, avec une différence significative. Les traitements et les puissances de microonde ont entraîné une modification de la couleur des produits élaborés, comme l'indique le paramètre ΔE ($p < 0,05$).

Mots clés : Séchage, polyphénols, flavonoïdes, activité antioxydante, extraction à froid, extraction par ultrasons.

5.1. Introduction

Récemment, il y a eu une énorme demande mondiale pour les pigments naturels d'origine végétale, qui sont enrichis d'un potentiel antioxydant et peuvent remplacer les pigments artificiels, en particulier dans les industries alimentaires, pharmaceutiques et cosmétiques. La majorité des pigments à base de pétrole où synthétiques sont signalés pour leurs effets néfastes sur la santé humaine, qui peuvent induire directement l'hyperactivité et l'allergénicité chez les enfants et autres personnes sensibles. Les consommateurs modernes, soucieux de leur santé, sont demandeurs de pigments naturels d'origine végétale, en particulier dans les applications alimentaires, ce qui a conduit les chercheurs à exploiter les déchets végétaux, fruits et légumes pour isoler les pigments naturels bioactifs (**Sharma & Bhat, 2021**). De nombreux antioxydants synthétiques comme le butyl-hydroxytoluène (BHT) ont été utilisés pour le traitement industriel, mais leur effet cancérigène et leur implication dans les lésions hépatiques sont très préoccupants pour la santé. Leur effet cancérigène et leur implication dans les lésions hépatiques constituent un problème de santé majeur. C'est pour cette raison que le besoin d'antioxydants de source naturelle a fait l'objet d'une grande attention et que des efforts ont été déployés pour identifier des composés pouvant agir comme antioxydants pour remplacer les antioxydants synthétiques. Les fruits présentent une large gamme d'activités antimicrobiennes, antiprolifération et anticarcinogènes. Ces activités biologiques peuvent être attribuées à leurs propriétés antioxydantes (**Sharma et al., 2015**). Glucides, vitamines C , K, β -carotène, niacine

et thiamine se trouvent dans les abricots frais, et le fruit est également trouvé à être une bonne source d'acides organiques, de phénols, de composés volatils, d'esters et de terpénoïdes (**Ruiz et al., 2005; Sefer et al., 2001**). Étant phytochimiquement riche, il est également une source efficace d'antioxydants qui limitent les effets destructeurs des réactions oxydantes produites par les radicaux libres. La présence de vitamines C, E, de carotènes, de polyphénols et de flavonoïdes contribue également à son activité antioxydante. L'abricot est considéré comme une bonne source d'antioxydants naturels pour les aliments et une source d'aliments fonctionnels contre le cancer, les maladies cardiaques et leur capacité à protéger contre les maladies chroniques (**Vega-Gálvez et al., 2019; Yiğit et al., 2009**). Le fruit contient également des composés volatils, des esters, des protéines alimentaires ainsi que de bonnes quantités d'huile et de fibres (**Haciseferoğulları et al., 2007**). La plupart des composés bioactifs et des bioconservateurs naturels sont sensibles aux réactions oxydatives et peuvent donc être facilement dégradés par des conditions environnementales ou de traitement extrêmes (par exemple, l'oxygène, la lumière, les hautes températures, l'humidité, les changements de pH, etc.) (**Soltanzadeh et al., 2021**). En général, *Prunus armeniaca* L. est utilisé comme médicament dans le traitement des maladies de la peau et des maladies parasitaires.

Plusieurs techniques d'extraction telles que : la macération à froid, à chaleur, extraction par microonde, l'utilisation de champ pulsé et l'extraction assistée par ultrasons peuvent être utilisées pour extraire les composés bioactifs.

Feng et al. (2015), ont déclaré que la longue durée des méthodes d'extraction conventionnelles entraînait des dommages aux composés phénoliques. Les auteurs ont également déclaré que le contact entre le matériau et la chaleur pendant l'extraction peut également endommager les composés bioactifs des extraits. Deux méthodes proposées pour faciliter l'extraction des composés bioactifs des abricots frais, séchés et pâte d'abricot, la technique d'extraction assistée par ultrasons (EAU : Extraction Assistée à Ultrasons) et la macération à froid pendant 24 heures.

Huang et al. (2009), ont déclaré que l'EAU est une méthode d'extraction simple et efficace. Les ondes ultrasonores endommagent la paroi cellulaire, ce qui entraîne la libération du contenu de la cellule (y compris les composés bioactifs) et le chauffage du local liquide. Cette séquence d'événements entraîne une augmentation de la diffusion des extraits.

L'utilisation des ondes ultrasonores pour l'extraction et la conservation des aliments, en raison de leur sécurité, de leur respect de l'environnement et de leurs faibles exigences instrumentales, constitue une nouvelle et puissante technologie de transformation (**Cui et al., 2017; Ghafoor et al., 2009**). L'utilisation d'EAU réduit la consommation des produits chimiques, le temps d'extraction et la dégradation des composants ciblés (**Oomah, 2001**).

L'amélioration de l'efficacité de l'extraction avec l'EAU est attribuée aux effets mécaniques et à la cavitation acoustique. Les ultrasons produisent un effet de cavitation acoustique qui facilite la pénétration du solvant d'extraction. L'extraction assistée par ultrasons s'est avérée être une technologie qui peut être adaptée à tout moment à petite ou grande échelle.

Par conséquent, ce travail vise à évaluer l'effet de séchage de différentes puissances de micro-onde et la température de four électrique sur les composés phénoliques, flavonoïdes et l'activité antioxydante d'abricot frais et les produits élaborés extraient par deux méthodes d'extraction (macération à froid et EAU), et l'effet de séchage sur la couleur des produits élaborés.

5.2. Matériel et méthodes

5.2.1. Préparation d'extraits d'abricots

Le procédé d'extraction des composés actifs est réalisé par deux méthodes d'extraction : macération à froid et extraction assistée par ultrasons.

5.2.1.1. Macération à froid

4 g d'abricot frais et produits élaborés ont été écrasés et homogénéisés, macération dans 400 ml de méthanol pendant 24 heures sous agitation continue. Après filtration, les filtrats ont été concentrés sous pression réduite. Récupération du résidu avec 10 ml de méthanol pur et conservation à -18°C.

5.2.1.2. Extraction assistée par ultrasons (EAU)

L'EAU a été réalisée à l'aide d'un bain à ultrasons (Soniclean 220 V, 250 W et 50 KHz, Soniclean Pty Ltd., Thebarton, Australie), 4g de d'abricot frais et produits élaborés ont été écrasés et homogénéisés. Macération dans 400 ml de méthanol pendant 30 minutes dans un bain à ultrasons à 45°C, filtration, concentration au rotavapor sous vide. Récupération du résidu avec 10 ml de méthanol pur et conservation à -18°C.

5.2.2. Dosage des polyphénols

*** Principe**

En présence des phénols, le mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et phosphomolybdique ($H_2PMO_{12}O_{40}$) est réduit en oxydes bleus de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_{23}), que l'on détermine par colorimètre (**Ribéreau-Gayon, 1972**).

***Mode opératoire**

Les polyphénols totaux sont déterminés selon la méthode décrite par **Lekbir et al. (2015)** et **Teow et al. (2007)**), 0,5 ml de l'extrait (extrait d'abricot frais, séché et extrait de la pâte d'abricot) est dilué avec 5 ml de l'eau distillée, puis 0,5 ml de réactif Folin-Ciocalteu a été ajouté. Après 3 minutes, 0,5 ml de carbonate de sodium (7,5%) sont ajoutés et le mélange est incubé dans l'obscurité pendant une heure à température ambiante. L'absorbance a été mesurée

à 760 nm à l'aide du spectrophotomètre VWR UV- 1600PC Vis. Les résultats ont été exprimés en mg d'équivalent d'acide gallique (GAE) par 100 g de matière sèche (MS) pour l'abricot frais et les produits élaborés. La teneur en polyphénols totaux est calculée en se référant à la gamme étalon présentée dans l'annexe 3 (figure 3).

5.2.3. Dosage des flavonoïdes

*** Principe**

Les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (OH) libre, en position 5 qui est susceptible de donner avec le groupement (-CO), un complexe coloré avec le chlorure d'aluminium. Les flavonoïdes forment des complexes jaunâtres par chélation des métaux (Fer et Aluminium) (Boulekbache, 2005).

***Mode opératoire**

La méthode du trichlorure d'aluminium est utilisée pour quantifier les flavonoïdes dans les extraits d'abricot. 1 ml d'échantillon (préparé dans le méthanol) est ajouté 1 ml de solution d'AlCl₃ (2% dans le méthanol). Après 10 minutes de réaction, l'absorbance est lue à 430 nm.

Les résultats ont été exprimés en mg d'équivalent de quercétine (EQ) par 100 g MS pour l'abricot frais et les produits élaborés. La teneur en flavonoïdes est calculée en se référant à la gamme étalon présentée dans l'annexe 3 (figure 4).

5.2.4. Évaluation de l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH de l'abricot frais et les produits élaborés

***Principe**

L'activité du balayage des radicaux libre a été mesurée en employant le radical libre stable DPPH (C₁₈H₁₂N₅O₆). La réduction de ce radical s'accompagne par son passage de la couleur violette caractéristique de la solution de DPPH à la couleur jaune (Bentabet et al., 2014). Ce radical est un oxydant qui peut être réduit par l'antioxydant (AH) selon la réaction suivante :



L'activité antioxydante a été évaluée en utilisant la méthode de piégeage avec des modifications où le 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl (DPPH) a été utilisé comme un radical libre relativement stable. 50 µl d'échantillon (extrait d'abricot frais et les produits élaborés) ont été ajoutés à 1,95 ml de solution méthanolique de DPPH (6 x 10⁻⁵ M) et agités au vortex, la réduction de ce radical s'accompagne par son passage de la couleur violette caractéristique de la solution de DPPH à la couleur jaune (Bentabet et al., 2014). Le mélange a été laissé dans l'obscurité pendant 30 min et l'absorbance mesurée à 517 nm avec le blanc correspondant. Le pouvoir de piégeage est exprimé en % et déterminé en appliquant la formule suivante :

$$\% \text{ d'inhibition} = [(Abs_{\text{contrôle}} - Abs_{\text{échantillon}}) / Abs_{\text{contrôle}}] \times 100 \quad (1)$$

Où

% : Pourcentage de l'activité anti-radicalaire ;

Abs échantillon : Absorbance de l'échantillon après 30 min ;

Abs contrôle : Absorbance du contrôle négatif après 30 min.

5.2.5. Analyse de la couleur de l'abricot frais et les produits séchés élaborés

La couleur est un attribut de qualité importante dans un aliment pour la plupart des consommateurs. Il s'agit d'un indice du bien inhérent les qualités d'un aliment et l'association de la couleur avec l'acceptabilité de l'aliment sont universelles.

Le Hunter Lab L^* , a^* , b^* et le système CIE modifié appelé écailles couleur CIELAB étaient des systèmes du type opposant couramment utilisés dans l'industrie alimentaire. Les coordonnées CIELAB (L^* , a^* , b^*) ont été lues directement. Il a été considéré comme un espace uniforme CIELAB dans lequel deux coordonnées de couleurs a^* et b^* , ainsi qu'un indice psychométrique de légèreté, L^* , ont été mesurés. Le paramètre a^* prend des valeurs positives pour les couleurs rougeâtres et des valeurs négatives pour les couleurs verdâtres, tandis que b^* prend des valeurs positives pour les couleurs jaunâtres et des valeurs négatives pour les couleurs bleutées. L^* est une mesure approximative de la luminosité, qui est la propriété selon laquelle chaque couleur peut être considérée comme équivalente à un membre de l'échelle grise, entre noir et blanc (Figure 1) (Granato & Masson, 2010).

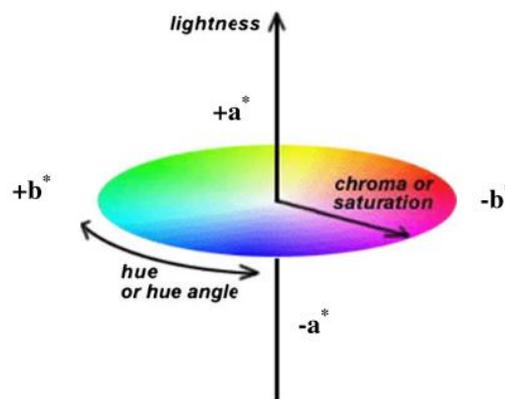


Figure 1 : Espace couleur CIELAB (Pathare et al., 2013).

La mesure de la couleur a été déterminée par l'utilisation d'un Chromamètre, type (KONICA MINOLTA CR- 10). L'appareil a été standardisé pendant chaque mesure. La couleur d'un produit est représentée par trois valeurs :

- L^* : représente (clarté /obscurité) ;
- a^* : représente (rouge /vert) ;
- b^* : représente (jaune /bleu) .

- Disposer verticalement le chromamètre sur les échantillons (abricot frais et produits séchés) ;
- Lire les valeurs (L^* a^* b^*) affichées sur l'appareil.

5.2.5.1. Différence de couleur totale (ΔE)

Les changements de couleur peuvent être mesurés comme le module du vecteur de distance entre les valeurs de couleur initiales et les coordonnées de couleur réelles. La différence totale de couleur (ΔE) indique la différence de couleur par rapport à la plaque standard calculée comme suit (Eq. 2) (İzli, 2018).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2)$$

Le ΔE est classé comme : très distinct ($\Delta E > 3$), distinct ($1,5 < \Delta E < 3$) et faible différence ($1,5 < \Delta E$).

5.2.6. Analyse statistique

Les données expérimentales ont été exprimées sous forme de moyens \pm écarts types. Toutes les déterminations ont été réalisées en triplicatas. Une analyse statistique des résultats a été réalisée à l'aide du logiciel XLStat 2014. Une hypothèse de moyenne égale a été testée par analyse de variance (ANOVA). La moyenne était significativement différente en comparaison avec le test de Duncan ($p \leq 0,05$).

5.3. Résultats et discussion

5.3.1. Teneur en polyphénols et flavonoïdes

Les résultats de l'effet de séchage sur la teneur des polyphénols totaux et flavonoïdes des produits élaborés extraient par deux méthodes d'extraction (macération à froid et EAU) sont mentionnés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Effet de séchage sur les valeurs des polyphénols et flavonoïdes des produits séchés élaborés extraient par méthode d'extraction à froid et EAU.

Produit	Teneurs en polyphénols (mg d'EAG /100 g MS)		Teneurs en flavonoïdes (mg d'EQ/100 g MS)	
	Macération à froid	EAU	Macération à froid	EAU
	Abricot	285,43 ± 0,0 ^a	165,49 ± 0,01 ^a	48,57 ± 0,03 ^a
1	245,88 ± 0,01 ^{ab}	16,94 ± 0,02 ^b	4,28 ± 0,04 ^{de}	2,16 ± 0,04 ^d
2	87,66 ± 0,13 ^c	16,15 ± 0,01 ^b	5,36 ± 0,11 ^d	3,69 ± 0,08 ^{bc}
3	127,058 ± 0,01 ^b	13,68 ± 0,05 ^c	5,65 ± 0,02 ^d	2,63 ± 0,03 ^d
4	76,84 ± 0,01 ^{cd}	12,73 ± 0,01 ^c	3,84 ± 0,02 ^e	10,74 ± 0,05 ^{ab}
5	75,23 ± 0,0 ^{cd}	15,02 ± 0,07 ^{bc}	11,89 ± 0,01 ^b	3,69 ± 0,04 ^{bc}
6	41,65 ± 0,02 ^d	16,13 ± 0,06 ^b	7,87 ± 0,26 ^c	2,72 ± 0,04 ^d
7	264,12 ± 0,04 ^{ab}	12,78 ± 0,04 ^c	5,36 ± 0,04 ^d	3,50 ± 0,04 ^{bc}
8	261,54 ± 0,13 ^{ab}	14,34 ± 0,04 ^{bc}	3,89 ± 0,01 ^e	3,64 ± 0,05 ^{bc}
9	251,53 ± 0,00 ^{ab}	17,28 ± 0,05 ^b	3,98 ± 0,03 ^e	4,54 ± 0,06 ^b
Pâte d'abricots	100,90 ± 0,11 ^b	9,81 ± 0,03 ^d	6,30 ± 0,07 ^{cd}	3,55 ± 0,04 ^{bc}

1 : Abricot subis un traitement de saccharose séché à 800 W, 2 : Abricot subis un traitement de saccharose séché à 400 W, 3 : Abricot subis un traitement de saccharose séché à 200 W, 4 : Abricot subis un traitement de NaCl séché à 800 W, 5 : Abricot subis un traitement de NaCl séché à 400 W, 6 : Abricot subis un traitement de NaCl séché à 200 W, 7 : Abricot subis un traitement de bisulfite de sodium séché à 800 W, 8 : Abricot subis un traitement de bisulfite de sodium séché à 400 W et 9 : Abricot subis un traitement de bisulfite de sodium séché à 200 W.

a, ab, b, bc, c, cd, d, de, e: dans chaque colonne, les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes au seuil de $p < 5\%$ (Test de Duncan).

D'après les résultats obtenus (tableau 1), l'abricot contient 285,43 mg d'EAG /100 g MS de polyphénols totaux. Cette valeur est inférieure à celle obtenue par **Akin et al. (2008)**, **Ali et al. (2011)** et **Vega-Gálvez et al. (2019)**, qui signalent une valeur en polyphénols totaux de 4233,70 à 8180,49 ; 4900 à 7310 et 4452,7 mg d'EAG /100 g MS respectivement, pour les variétés Bursa et Tokalogleu au niveau de la région de Malatya de la Turkey, Shai et Habi de la région du nord du Pakistan et Tilton, province de Salamanca, région de Coquimbo, Chili. Ces différences peuvent être dues à une différence dans la variété d'abricots ou à la complexité du groupe de composés phénoliques, ainsi qu'aux méthodes d'extraction et d'analyse.

L'analyse des résultats révèle des pertes du taux des polyphénols totaux des produits élaborés, dont les plus importants sont enregistrés pour les abricots traités à la solution de NaCl séchés à 200, 400 et 800 W (respectivement 41,65, 75,23 et 76,84 mg d'EAG /100 g MS, avec une différence significative) par microonde. La teneur la plus élevée en polyphénols totaux d'abricot traité à la solution de bisulfite de sodium séché correspond à la puissance : 800, 400 et 200 W (respectivement 264,12, 261,54 et 251,3 mg d'EAG /100 g MS, sans différence

significative). En comparant nos résultats avec le produit frais, on a pu conclure qu'il y-a une diminution de la teneur des polyphénols totaux des produits séchés élaborés, au cours du séchage, la liaison des polyphénols avec d'autres composés tels que les protéines peut se produire (**Djendoubi Mrad et al., 2012**) ou la structure chimique des polyphénols peut également être modifiée (**Agostini et al., 2004**), ce qui entraîne une diminution inévitable de la teneur des polyphénols totaux. Certains auteurs ont également rapporté une diminution des composés phénoliques des abricots séchés, également attribuée à une activité enzymatique de la polyphénoloxydase (PPO). Il a été trouvé que pendant le processus de déshydratation, l'activité PPO reste élevée pendant de plus longues périodes lorsque la température de séchage est autour de 55-60°C alors que des périodes d'exposition plus courtes sont nécessaires pour inactiver l'enzyme à des températures de 75-80°C (**Igual et al., 2012; Madrau et al., 2009**).

D'après le tableau 1, l'abricot extrait par EAU contient 165,49 mg d'EAG /100 g MS de polyphénols totaux. Cette valeur est inférieure à celle obtenue par méthode de macération à froid (285,43 mg d'EAG /100 g MS de polyphénols totaux), pour la même variété de Rosé de la région de Bouzina de la wilaya de Batna. Cette différence est due à la méthode d'extraction utilisée, par comparaison entre les deux méthodes d'extraction utilisées dans notre travail, on remarque une perte importante de la teneur en polyphénols totaux des produits séchés extraite par méthode assistée par ultrasons et cette différence est significative, on constate que la méthode de macération à froid c'est la meilleure par rapport à la méthode assistée par ultrasons, donc la méthode d'extraction à froid est plus extraite les polyphénols totaux d'abricot frais et produits séchés élaborés par rapport à d'autre méthode utilisée.

D'après les résultats obtenus (tableau 1), l'abricot contient 48,572 mg EQ /100 g MS des flavonoïdes, cette valeur est inférieure à celle obtenue par **Vega-Gálvez et al. (2019)**, qui signalent une valeur en flavonoïde de 2104,7 mg EQ /100 g MS, pour la variété de Tilton, province de Salamanca, région de Coquimbo, Chili. Cette différence peut être due à une différence dans la variété d'abricot ou à la méthode d'extraction et d'analyse utilisée.

L'analyse des résultats révèle des pertes du taux des flavonoïdes des produits séchés élaborés, dont les plus importants sont enregistrés pour les abricots traités aux solutions de NaCl et bisulfite de sodium séchés à 800 et 400 W (respectivement 3,841et 3,899 mg d'EQ/100 g MS avec une différence non significative) par microonde. La teneur la plus élevée en flavonoïdes : c'est les abricots traités à la solution de NaCl séchés à 400 W et la pâte d'abricots (respectivement 11,891et 6,304 mg d'EQ/100 g MS avec une différence significative). En comparant nos résultats avec le produit frais, Il a été conclure qu'il y-a une diminution de la teneur du flavonoïde des produits séchés élaborés, donc le séchage est un effet sur ces éléments nutritifs.

D'après les résultats obtenus par la méthode d'extraction à ultrasons (tableau 1), l'abricot contient 12,110 mg d'EQ/100 g MS du flavonoïde. Cette valeur est inférieure à celle obtenue par la méthode de macération à froid (48,572 mg d'EQ/100 g MS du flavonoïde), pour la même variété de Rosé de la région de Bouzina de la wilaya de Batna, cette différence est due à la méthode d'extraction utilisée. par comparaison entre les deux méthodes d'extraction utilisées dans notre travail, on remarque une perte importante de la teneur en flavonoïde des produits séchés extraient par la méthode EAU et cette différence est significative, on constate que la méthode de macération à froid c'est la meilleure par apport à la méthode assistée par ultrasons, donc la méthode d'extraction à froid est plus extraite la flavonoïde d'abricot frais et les produits élaborés par apport à d'autre méthode d'extraction.

L'analyse des résultats révèle des pertes du taux des flavonoïdes des produits élaborés, dont les plus importants sont enregistrés pour les abricots traités à la solution de saccharose séchés à 800 et 200 W (respectivement 2,162 et 2, 639 mg EQ/100 g MS avec une différence non significative) par microonde.

La teneur la plus élevée en flavonoïde est enregistrée pour les abricots traités par solutions de NaCl et bisulfite de sodium séchés à 800 et 200 W (respectivement 10,743 et 4,542 mg d'EQ /100 g MS avec une différence significative). L'abricot traité par NaCl séché par microonde à 800 W est enregistré la meilleure teneur en flavonoïde par rapport aux autres produits séchés élaborés. En comparant nos résultats avec le produit frais, Il a été conclure qu'il y-a une diminution de la teneur des flavonoïdes des produits séchés élaborés. **Casquete et al. (2014)**, montrent que la durée du traitement provoque la perturbation, désorganisation des tissus et surtout la décompartmentation cellulaire conduisant à une importante interaction enzyme-substrat pendant le traitement d'où une augmentation de l'activité enzymatique.

5.3.2. Évaluation de l'activité antioxydante par effet du radical DPPH de la matière fraiche et les produits élaborés

Les résultats de l'effet de séchage sur l'activité antiradicalaire DPPH des produits séchés élaborés extraient par deux techniques d'extraction : macération à froid et EAU sont mentionnés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Effet de séchage sur les valeurs de l'activité antiradicalaire des produits séchés élaborés extraient par méthode d'extraction à froid et EAU (%).

Produit	Extraction à froid	EAU
Abricot	61,77 ± 0,009 ^{bc}	14,37 ± 0,014 ^f
1	63,44 ± 0,020 ^{bc}	52,51 ± 0,037 ^b
2	57,29 ± 0,011 ^c	42,78 ± 0,073 ^c
3	75,40 ± 0,0007 ^b	26,63 ± 0,044 ^e
4	64,66 ± 0,007 ^{bc}	54,09 ± 0,102 ^b
5	71,89 ± 0,053 ^b	32,04 ± 0,079 ^d
6	34,22 ± 0,001 ^e	45,16 ± 0,003 ^c
7	91,11 ± 0,007 ^{ab}	56,96 ± 0,019 ^b
8	96 ± 0,002 ^a	22,70 ± 0,078 ^e
9	53,66 ± 0,019 ^c	66,88 ± 0,014 ^a
Pâte d'abricots	43,88 ± 0,065 ^d	21,31 ± 0,045 ^e

1 : Abricot subis un traitement de saccharose séché à 800 W, 2 : Abricot subis un traitement de saccharose séché à 400 W, 3 : Abricot subis un traitement de saccharose séché à 200 W, 4 : Abricot subis un traitement de NaCl séché à 800 W, 5 : Abricot subis un traitement de NaCl séché à 400 W, 6 : Abricot subis un traitement de NaCl séché à 200 W, 7 : Abricot subis un traitement de bisulfite de sodium séché à 800 W, 8 : Abricot subis un traitement de bisulfite de sodium séché à 400 W et 9 : Abricot subis un traitement de bisulfite de sodium séché à 200 W.

a, ab,b, bc, c, d, e, f: dans chaque colonne, les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes au seuil de $p < 5\%$ (Test de Duncan).

D'après le tableau 2, les résultats de l'activité antioxydante ont révélé que les extraits d'abricots frais extraits par méthode de macération à froid possèdent une activité antiradicalaire importante est de 61,77 %. Cette valeur est supérieure à celui – ci donnée par **Derrardja (2014)** ; **İncedayi et al. (2016)** et **Noui (2016)** qui donnent à des valeurs de 32,50, 46,52 et 28,97 %, respectivement. L'activité antioxydante la plus élevée est observée pour les abricots traités à la solution de bisulfite de sodium séchés à 800 et 400 W, les produits traités par solution de saccharose séchés à 200 W et ceux traités par solution de NaCl séchés à 400 et 800 W (respectivement 96 ; 91,11 ; 75,40 ; 71,89 et 64,66 %), avec des différences significatives.

L'augmentation ou la diminution de l'activité antioxydante après séchage est essentiellement attribuée au changement de la composition phénolique. La même constatation a été rapportée par **Pradeep & Guha (2011)**, qui ont signalé que l'augmentation de l'activité antioxydante après traitement thermique est fortement corrélée avec la teneur polyphénolique.

Les études de **Dragovic-Uzelac et al. (2007)**, qui ont cherché à mettre en évidence la corrélation entre la teneur en polyphénols et l'activité antioxydante des extraits de fruits et légumes, ont montré que les composés phénoliques contribuent directement à la capacité antioxydante.

Selon le tableau 2, les résultats de l'activité antioxydante ont révélé que les extraits d'abricots frais extraits par méthode EAU possèdent une activité antiradicalaire de 14,37 %, ce résultat est très inférieur à celle-ci trouvée par méthode de macération à froid.

L'augmentation de l'activité antioxydante après séchage est essentiellement attribuée au changement de la composition phénolique. L'activité antioxydante la plus élevée est observée pour les abricots traités la solution de bisulfite de sodium séchés à 200 et 800 W, solution de NaCl séchés à 200 W et solution de saccharose séché à 800 W (respectivement 66,88 ; 56,96 ; 54,09 et 52,51 %), avec une différence significative. Les valeurs les plus faibles sont enregistrées à la pâte d'abricot, abricot séché traité par solution de bisulfite de sodium séché à 400 W et ce traité par solution de saccharose séché à 200 W (respectivement 21,13 ; 22,70 et 26,63%, avec une différence non significative). Par comparaison entre les deux méthodes d'extraction, on constate que la technique de macération à froid est la meilleure, car elle a extrait une grande quantité des polyphénols et par conséquent des valeurs très importantes de l'activité antiradicalaire.

5.3.3. Mesure de la couleur de l'abricot frais et les produits séchés élaborés

5.3.3.1. Espace de couleur L* a* b*

La couleur d'abricot frais et les produits séchés élaborés sont mentionnés dans la figure 2. Les paramètres de la couleur prise comme standard sont ceux d'abricot frais, où : L_0^* 45,46 ; a_0^* 10,66 ; b_0^* 33,36 .

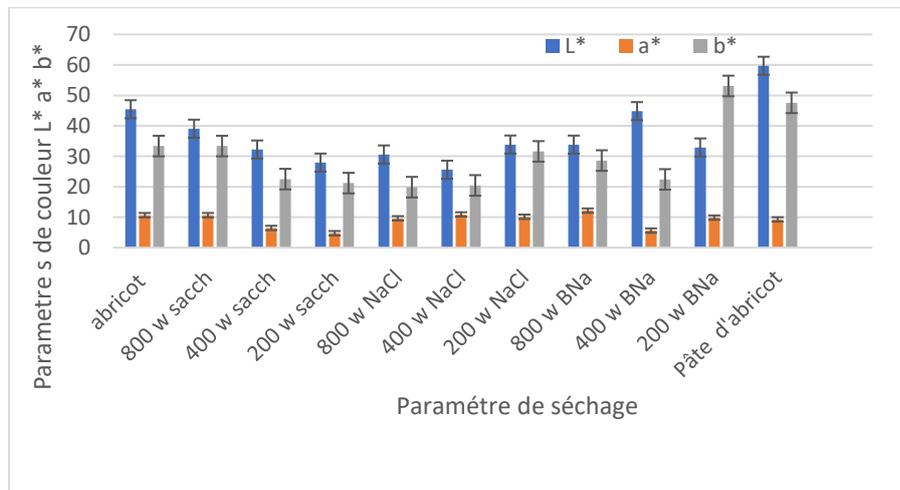


Figure 2 : Paramètres de la couleur (L*, a* et b*) pour l'abricot frais et les produits élaborés.

La figure 2 montre les paramètres de la couleur (L^* , a^* et b^*) pour l'abricot frais et les produits séchés élaborés. Il existe des différences significatives ($p < 0,05$) entre la couleur de l'abricot frais et ceux des produits élaborés pour la technique de séchage par microonde à différentes puissances (200, 400 et 800 W) et le séchage par four électrique à température de 60°C et ceci pour tous les paramètres de la couleur L^* , a^* et b^* . Donc la technique de séchage appliquée et leurs paramètres (puissances de microonde, température de four électrique) influent sur les paramètres de la couleur.

Selon l'analyse statistique, les abricots traités par solution de bisulfite de sodium séchés à 400 W ($L^* 44,83$) sont la plus proche à la couleur de l'abricot frais ($L^* 45,46$), avec des différences non significatives. Pour les autres produits élaborés, on remarque une diminution de ce paramètre par rapport le produit frais, avec des différences significatives, par contre, il y a une augmentation de la valeur de L^* de la pâte d'abricot (59,73) par rapport à l'abricot frais, avec des différences significatives. Donc le paramètre L^* (clarté ou luminosité) varié en fonction de la puissance de microonde, prétraitements utilisés et la température de four électrique.

En ce qui concerne la valeur (a^*), l'abricot frais possède une valeur de 10,66 (c'est-à-dire : couleur rouge). Selon les résultats obtenus, le paramètre a^* de la couleur des produits élaborés est plus réservé par rapport à l'abricot frais. La faible valeur d' a^* est enregistrée pour les abricots traités par solution de saccharose séchés à 200 W.

Selon les résultats obtenus, on remarque une diminution de la valeur du coordonné b^* (couleur jaune) pour les produits élaborés par rapport le produit frais, mais cette diminution n'affecte pas la couleur des produits élaborés. Par contre, il y a une augmentation plus importante du jaune pour l'abricot traité par solution de bisulfite de sodium séché à 200 W par microonde et la pâte d'abricot (53,1 et 47,56, respectivement) par rapport à l'abricot frais (33,36), ce qui correspond à l'augmentation de la couleur jaune de ces produits, donc le séchage a un effet positif sur la couleur des produits séchés (effet positif).

Vega-Gálvez et al. (2019) ont observé le même résultat (diminution du paramètre b^* pour les échantillons d'abricots séchés à température 40 et 50°C) pour le séchage des abricots par un séchoir convectif, **Akin et al. (2008)** ont signalé des changements similaires dans les paramètres chromatiques de différentes variétés d'abricots.

5.3.3.2. Différence de couleur totale (ΔE)

La différence de couleur totale ΔE , qui est une combinaison des valeurs des paramètres L^* , a^* , b^* ou L^* , c^* , h° est un paramètre colorimétrique largement utilisé pour caractériser la variation de couleur des aliments durant quel processus (figure 3).

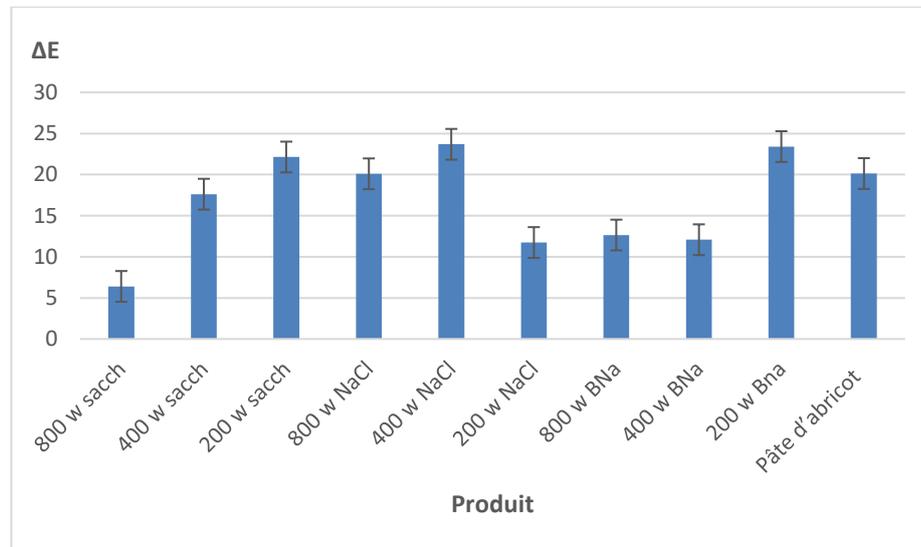


Figure 3 : Changement de couleur (ΔE) des produits élaborés.

Le changement de couleur globale est alors exprimé par la quantité ΔE , distance de couleur, qui tient compte des différences de L^* , a^* et b^* entre un échantillon et un autre échantillon de référence, standard (ici, l'échantillon d'abricot frais). La différence de couleur totale (ΔE) a été par la suite déterminé à l'aide de calculs les valeurs ΔL^* , Δa^* et Δb^* . Bien qu'il soit possible d'obtenir une couleur souhaitable des abricots secs, une différence de couleur totale (ΔE) entre les fruits traités et non traités est inévitable.

Selon **Chen (2008)** des différences appréciables dans une plage de $5 < \Delta E < 25$ peuvent se produire, comme cela a été observé pour les fruits secs du Pépino. D'après le calcul de la différence de la couleur totale (ΔE), en remarque que le résultat de ΔE est varié entre 6,4 à 23,69 pour les produits élaborés séchés par microonde à différentes puissances (200, 400 et 800 W) et four électrique, avec des différences significatives. La densité de la pâte d'abricot séché au four électrique à 60 °C et l'abricot salé séché par microonde à 400 W provient de l'installation des réactions enzymatiques et non enzymatiques. Cependant, les valeurs ΔE obtenues à toutes les puissances utilisées ont été donc inférieures à une valeur de $\Delta E > 24$ rapportée par **García-Martínez et al. (2013)** pour les abricots espagnols et supérieures à celles données par **Vega-Gálvez et al. (2019)** qui se trouvent des valeurs n'ont pas dépassé 16,6 pour les abricots de Chili.

On a pu conclure que le séchage des abricots traités par solution de saccharose séchés par microonde à 800 W a moins d'effet sur la couleur d'abricot par rapport aux autres puissances, le léger brunissement observé qui pourrait être dû à une légère inactivation de l'activité de la peroxydase et de polyphénol oxydase pendant le séchage par microonde testée.

Chong et al. (2013) montrent que la déshydratation thermique des fruits provoque l'installation des réactions enzymatiques et non enzymatique (réaction de Maillard), oxydation de l'acide ascorbique et la dégradation des pigments. Par ailleurs, l'abricot est riche en sucre réducteur, ceci conduit à l'installation de la réaction de Maillard lorsque les conditions sont favorisantes. **Maskan (2001)** a observé le même résultat (augmentation en ΔE en fonction du temps) pour le séchage des kiwis par microonde. Il a également noté l'augmentation de la valeur des paramètres L^* et a^* , et il a montré qu'il y a une corrélation positive entre ce paramètre et la production de pigments bruns.

5.4. Conclusion

D'après nos résultats, nous pouvons conclure que l'abricot contient des teneurs importantes en polyphénols et en caroténoïdes et l'activité antioxydante. Les principaux résultats montrent que les polyphénols et les caroténoïdes sont sensibles aux traitements thermiques au cours du procédé de séchage par microonde à différentes puissances et traitements. La méthode d'extraction par ultrasons a enregistré des pertes très importantes des polyphénols et flavonoïdes par rapport à la méthode d'extraction à froid. Toutefois, les procédés de séchage semblent avoir des effets positifs sur la composition phénolique, en augmentant le taux d'activité antioxydante des produits traités séchés à différentes puissances extraient par deux méthodes d'extraction ; L'augmentation de l'activité antioxydante après séchage est essentiellement attribuée au changement de la composition phénolique. Les traitements et les puissances de microonde ont entraîné une modification de la couleur des produits élaborés, comme l'indique le paramètre ΔE ($p < 0,05$).

Chapitre 6

Évaluation sensorielle

des produits élaborés

Résumé

Cette étude a été menée dans le but d'élaborer des abricots séchés traités par solutions : de saccharose, NaCl et bisulfite de sodium, à différentes puissances par microonde (200, 400 et 800 W) et fabrication de pâte d'abricot par four électrique à 60°C. Pour apprécier le degré d'acceptation des produits élaborés, on fait des analyses sensorielles. Le test de classement montre que les abricots salés séchés à 400 W ont occupés la première classe ; ce qui explique l'adaptation de solution de NaCl au traitement d'abricot. Le test hédonique a révélé que les produits élaborés ont des caractères acceptables par les dégustateurs.

Mots clés : Abricots séchés, saccharose, bisulfite de sodium, puissances, NaCl, microonde.

6.1. Introduction

Nous savons peu de choses sur la façon dont les humains détectent, distinguent et identifient les odeurs dans les mélanges en milieu naturel. Pour les humains, les milieux naturels comprennent l'environnement bâti, tant urbain que rural. La grande majorité de nos connaissances sur l'olfaction humaine provient d'études de laboratoire en psychologie et en sciences cognitives, menées dans des environnements contrôlés par les odeurs et sur des échantillons de commodité (**Hoover, 2019**). Les études et l'évaluation des saveurs et des sens des aliments peuvent être considérées comme un processus de collecte d'informations utilisé pour mesurer, analyser et interpréter les réactions comportementales aux produits alimentaires basées sur les cinq sens que sont la vue, l'ouïe, le goût, l'odorat et le toucher, comme instruments de mesure des qualités d'un produit alimentaire. Il s'agit d'un ensemble de techniques utilisées pour mesurer les réponses humaines tout en minimisant les biais causés par les sources de confusions potentielles, qui comprennent la marque et d'autres informations susceptibles d'affecter la perception du consommateur (**Mukhopadhyay et al., 2013**). Les tests sensoriels descriptifs sont parmi les outils les plus sophistiqués de l'arsenal du scientifique sensoriel et impliquent la détection (discrimination) et la description des composantes sensorielles qualitatives et quantitatives d'un produit de consommation par des panels de juges entraînés (**Murray et al., 2001**). Dans le contexte de l'industrie alimentaire, l'évaluation sensorielle est l'un des outils que la direction du marketing peut utiliser pour comprendre le marché cible, identifier les caractéristiques les plus importantes d'un produit, éliminer les efforts inutiles pendant le développement du produit, de traiter les problèmes de qualité, de comparer leur marque à d'autres et d'essayer de garantir une longue durée de conservation (**Iannario et al., 2012**). L'analyse sensorielle représente l'ensemble des méthodes, des outils et des instruments qui permettent d'évaluer les qualités organoleptiques d'un produit, c'est-à-dire les caractéristiques faisant intervenir les organes des sens de l'être humain : le goût, l'odorat, la vue, le toucher et l'ouïe. Elle permet de décrire et de quantifier de manière systématique

l'ensemble des perceptions humaines. Les résultats obtenus à partir des études sensorielles des aliments fournissent des informations importantes sur la qualité et les caractéristiques des produits alimentaires qui peuvent être utilisées dans plusieurs domaines tels que le développement de nouveaux produits, la compréhension des consommateurs, le profilage des arômes et des goûts, et le contrôle de la qualité. Dans ce type d'études, les principaux objectifs de l'évaluation peuvent souvent être classés de manière générale comme suit : l'analyse des arômes, qui est en grande partie liée à la détermination des composés chimiques associés aux goûts et aux odeurs d'un produit alimentaire perçus par les consommateurs ; le profilage sensoriel, qui est la détermination des caractéristiques sensorielles telles que la douceur, la mastication, parmi une multitude d'autres attributs ; ainsi que l'analyse de l'odeur et de la saveur des aliments et les tests hédoniques, qui permettent de déterminer l'acceptation ou la préférence d'un produit par les consommateurs (Yu et al., 2018). Les analyses sensorielles descriptives sont également utilisées pour le contrôle de la qualité, pour la comparaison de prototypes de produits afin de comprendre les réactions des consommateurs par rapport aux attributs sensoriels des produits, et pour la cartographie sensorielle et l'appariement des produits. Elle peut également être utilisée pour suivre l'évolution du produit dans le temps afin de comprendre les effets de la durée de conservation et du conditionnement, d'étudier les effets des ingrédients ou des variables de traitement sur la qualité sensorielle finale d'un produit, et pour étudier les perceptions des produits par les consommateurs (par exemple, le profilage du libre choix) (Murray et al., 2001). Les données sensorielles désignent les scores sensoriels attribués aux attributs sensoriels d'un produit alimentaire par un panel d'évaluateurs. Ces attributs ne se réfèrent pas seulement au goût et à l'odeur du produit, mais peuvent s'étendre à d'autres propriétés, y compris la qualité du produit, mais peuvent s'étendre à d'autres propriétés, dont la texture et les attributs de la texture et les attributs physico-chimiques, ainsi que des propriétés extrinsèques telles que le prix, la marque et les informations nutritionnelles. Dans les tests hédoniques, la principale donnée associée est le goût du consommateur. Cela fournit des informations sur la façon dont un produit est bien accueilli sur le marché, ce qui est précieux pour les producteurs et les fabricants de produits alimentaires et de boissons (Yu et al., 2018).

L'analyse sensorielle est un passage obligatoire pour les industriels du marché agroalimentaire. En effet, cette technique vise la satisfaction des besoins du consommateur tout en réduisant les pertes aussi bien pour le fabricant que pour le revendeur. L'évaluation sensorielle se définit comme la mesure et l'interprétation des perceptions de l'homme, en utilisant un groupe de sujets humain comme instruments de mesure. Ainsi, selon le type, l'évaluation sensorielle peut avoir comme objectifs : la description objective d'un produit pour établir un profil sensoriel, l'étude de la satisfaction des consommateurs et/ou de leurs

préférences, la conception de nouveaux produits ou l'optimisation de ceux qui existent déjà, l'imitation de certains produits, l'étude de l'évolution du produit dans le temps (au cours du stockage) pour assurer sa qualité, la comparaison entre les produits concurrents et les deux produits pour étudier l'influence de certains procédés technologiques sur les qualités organoleptiques (**Urdapileta et al., 2001**). Les domaines d'application d'analyse sensorielle peuvent être utilisés en : la recherche et développement, le marketing et le contrôle de qualité.

La recherche et développement, l'évaluation sensorielle interviennent lors de la mise au point de nouveaux produits. Des sujets qualifiés et entraînés sont sollicités pour décrire objectivement les échantillons et évaluer les ressemblances ou dissemblances entre différentes références d'un même type de produit (**Guerra, 2008**). Le marketing est une méthode, mettant en œuvre une démarche et des outils, sous-tendu par un état d'esprit particulier, qui cherche à satisfaire, dans les meilleures conditions psychologiques pour la clientèle, et financière pour l'entreprise, les besoins naturels ou suscités (**Dayan, 2001**). Le marketing sensoriel est une nouvelle approche prenant en compte les besoins des utilisateurs en travaillant sur les canaux de la perception plutôt que sur les données sociologiques ou économiques (**Divard et al., 2001**). Le contrôle de qualité garantit le respect du cahier des charges. Des contrôles sont donc effectués tout au long du flux de production pour s'assurer de la bonne conformité des produits d'une étape à une autre de la gamme afin de satisfaire le client final. L'analyse sensorielle est basée sur la perception du contrôleur et non sur celle du client potentiel (**Guerra, 2008**). D'un point de vue statistique, l'évaluation sensorielle est une méthode scientifique où les résultats expérimentaux sont recueillis sur un ensemble de consommateurs échantillonnés qui expriment des préférences et des réactions par rapport aux caractéristiques des aliments et des boissons. En fait, le choix exprimé est le résultat d'une décision humaine et nous devons supposer que ce processus est le résultat d'interactions complexes conditionnées par l'histoire personnelle, les variables environnementales, les covariables subjectives et les caractéristiques des objets, qui interagissent également avec la modalité de l'enquête. Par conséquent, il peut être pertinent d'étudier la structure stochastique du processus de choix afin de modéliser de manière adéquate les préférences observées (**Iannario et al., 2012**). D'un point de vue opérationnel, pour recueillir des données sensorielles, on demande souvent à des experts ou à des sujets non formés de noter ou de classer différents produits sur la base de certains descripteurs sensoriels (items), en exprimant leurs perceptions sur la base d'une réponse hédonique. Souvent invités à évaluer ou à classer différents produits sur la base de certains descripteurs sensoriels (items), en exprimant leurs perceptions sur des échelles de réponse hédoniques (généralement des échelles de Likert à 9 points). De cette façon, les tests affectifs transforment les perceptions sensorielles en mesures ordinales.

L'objectif de cette partie consiste à établir le profil sensoriel de nos produits élaborés à base d'abricot (*Prunus armeniaca* L.) traités aux solutions de : saccharose, NaCl et bisulfite de sodium séchés par microonde à différentes puissances (200, 400 et 800 W) afin d'apprécier le degré d'acceptabilité des produits élaborées.

6.2. Matériel et méthodes

6.2.1. Analyse sensorielle

L'analyse sensorielle a fait, ces dernières années, des progrès considérables. L'utilisation de systèmes informatiques sophistiqués pour l'acquisition et le traitement des données a fortement contribué à la reconnaissance de cette technique et à son application (**Raoux, 1998**).

6.2.2. Test de classement

Les tests de classement par rang de l'intensité supposent que les dégustateurs classent les échantillons d'après l'intensité perçue d'une caractéristique sensorielle (**Watts et al., 1991**).

6.2.3. Test hédonique

Dans les épreuves d'évaluation hédonique, les échantillons sont présentés de façon monadique et le sujet doit exprimer son avis concernant leur caractère agréable sur une échelle de cotation à 9 points ou sur une échelle d'intervalle (**Magnen, 1998**).

6.2.4. Objectif

L'objet de notre travail consiste à établir le profil sensoriel de nos échantillons codés 111, 112, 113, 200, 203, 205, 300,307 et 314 afin d'apprécier le degré d'acceptabilité des produits élaborés (Tableau 1).

Tableau 1 : Noms des codes des produits séchés élaborés à base d'abricot (*Prunus armeniaca* L.).

Code	Nom de produit
111	Abricot sucré séché à 800 W
112	Abricot sucré séché à 400 W
113	Abricot sucré séché à 200 W
200	Abricot salé séché à 800 W
203	Abricot salé séché à 400 W
205	Abricot salé séché à 200 W
300	Abricot traité au bisulfite de sodium séché à 800 W
307	Abricot traité au bisulfite de sodium séché à 400 W
314	Abricot traité au bisulfite de sodium séché à 200 W

6.2.5. Préparation de la salle d'évaluation

L'organisation de la salle de dégustation doit permettre d'éviter que les sujets s'influencent mutuellement par des expressions de visage ou des paroles.

6.2.6. Présentation des échantillons

Les échantillons sont présentés dans des boîtes en aluminium avec couvercles pour éviter la contamination.

6.2.7. Le groupe d'évaluation

Le jury de dégustation utilisé est constitué de 15 personnes, afin de réaliser le profil sensoriel de nos échantillons élaborés à base d'abricot.

La fiche de dégustation utilisée est représentée dans l'annexe 3. Chaque dégustateur faisant partie du jury doit déguster l'échantillon à examen, contenue dans des boîtes à dégustation, afin d'en analyser les perceptions olfactives, gustatives, tactiles.

6.2.8. Analyse statistique

L'analyse statistique est exécutée en utilisant logiciel XLSTAT (version 2014 ANOVA).

6.3. Résultats et discussion

6.3.1. Évaluation sensorielle des produits élaborés

6.3.1.1. Test d'acceptation (Classement par rang d'acceptation)

Les neufs échantillons ont été présentés en même temps à un panel de 15 dégustateurs. Le bulletin servant au classement par rang de l'acceptabilité est celui de l'annexe 5. L'échantillon auquel on accordait l'aspect le plus acceptable se voyait donner la cote 1, le suivant la cote 2 et celui qui paraissait le moins acceptable la cote 9.

Les différences entre les paires de totaux étaient les suivantes :

$$200 - 111 = \underline{50} > 47 \quad \text{Différence significative}$$

$$200 - 112 = \underline{54} > 47 \quad \text{Différence significative}$$

$$200 - 203 = 33 < 47$$

$$200 - 203 = \underline{62} > 47 \quad \text{Différence significative}$$

$$200 - 205 = 40 < 47$$

$$200 - 300 = 46 < 47$$

$$200 - 307 = 31 < 47$$

$$200 - 314 = \underline{53} > 47 \quad \text{Différence significative}$$

$$307 - 111 = 19 < 47$$

$$307 - 212 = 23 < 47$$

$$307 - 113 = 2 < 47$$

$$307 - 203 = 31 < 47$$

$$307 - 205 = 9 < 47$$

$$307 - 300 = 15 < 47$$

$$307 - 314 = 22 < 47$$

$$113 - 111 = 17 < 47$$

$$113 - 112 = 21 < 47$$

$$113 - 203 = 29 < 47$$

$$113 - 205 = 7 < 47$$

$$113 - 300 = 13 < 47$$

$$113 - 307 = 20 < 47$$

$$205 - 111 = 10 < 47$$

$$205 - 112 = 14 < 47$$

$$205 - 203 = 22 < 47$$

$$205 - 300 = 6 < 47$$

$$205 - 307 = 13 < 47$$

$$300 - 111 = 4 < 47$$

$$300 - 112 = 8 < 47$$

$$300 - 203 = 16 < 47$$

$$300 - 314 = 7 < 47$$

$$111 - 112 = 4 < 47$$

$$111 - 203 = 12 < 47$$

$$111 - 314 = 3 < 47$$

$$112 - 203 = 8 < 47$$

$$314 - 112 = 1 < 47$$

$$314 - 203 = 9 < 47$$

Sachant que :

111 : Abricot sucré séché à 800 W, 112 : Abricot sucré séché à 400 W, 113 : Abricot sucré séché à 200 W, 200 : Abricot salé séché à 800 W, 203 : Abricot salé séché à 400 W, 205 : Abricot salé séché à 200 W, 300 : Abricot traité au bisulfite de sodium séché à 800 W, 307 : Abricot salé séché à 400 W et 314 : Abricot salé séché à 200 W.

La valeur critique calculée pour $p = 0,05$ (Test de Friedman), pour 15 dégustateurs et neuf échantillons est 47 d'après le tableau 6, annexe 5. Le test de signification (Test de Friedman) a révélé qu'il n'y a pas une différence significative entre les produits élaborés ; car les valeurs des différences entre les produits sont inférieures à 47, sauf les produits suivants : Abricot salé séché à 800 W avec Abricot sucré séché à 800 W, : Abricot salé séché à 800 W avec Abricot sucré séché à 400 W, Abricot salé séché à 800 W avec Abricot salé séché à 400 W et Abricot salé séché à 800 W avec Abricot salé séché à 200 W.

L'aspect agréable de l'abricot salé séché à 400 W était apprécié par les dégustateurs suivis par l'abricot sucré séché à 400 W, puis l'abricot salé séché à 200 W et finalement l'abricot sucré séché à 800 W.

Les dégustateurs ont estimé que l'aspect d'abricot sucré séché à 400 W, l'abricot salé séché à 200 W et l'abricot sucré séché à 800 W était moins acceptable que celui de l'abricot salé séché à 400 W.

Le test d'acceptation (Classement par rang d'acceptation) des produits séchés élaborés à base d'abricot (*Prunus armeniaca* L.) est mentionné dans la figure 1.

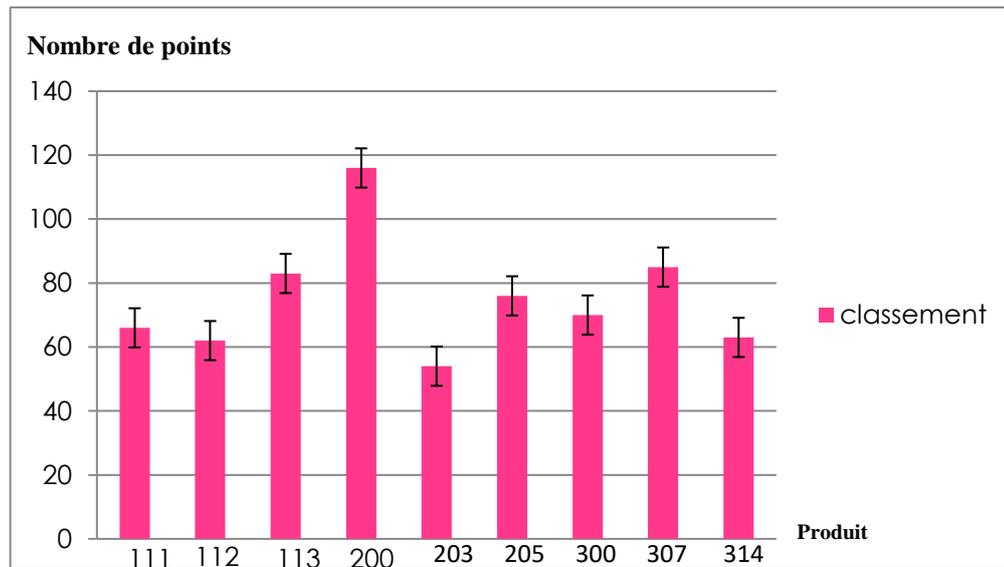


Figure 1 : Résultats du test de dégustation des produits élaborés.

6.3.1.2. Test hédonique

Le test hédonique des produits élaborés est mentionné dans le tableau 2.

Tableau 2 : Résultats du test hédonique des produits élaborés à base d'abricot.

Code du produit	Aspect		Goût						Texture en bouche
	Couleur	forme	Acide	Sucré	Caramélisé	Salé	Frais	Arrière- goût	Collante
111	6,86 ± 2,41 ^a	6,06 ± 2,76 ^a	4,4 ± 2,82 ^a	4,8 ± 2,24 ^a	1,6 ± 1,80 ^a	1 ± 0,10 ^b	4,2 ± 2,83 ^a	3,4 ± 2,87 ^a	5,13 ± 1,50 ^a
112	6,00 ± 2,36 ^a	6,73 ± 1,83 ^a	4,8 ± 2,30 ^a	4,13 ± 1,99 ^{ab}	1,86 ± 1,50 ^a	1,2 ± 0,56 ^{ab}	4,26 ± 2,93 ^a	3,46 ± 2,74 ^a	5,33 ± 2,41 ^a
113	7,13 ± 2,53 ^a	6,86 ± 2,32 ^a	5,26 ± 2,78 ^a	5,13 ± 2,77 ^{ab}	2,06 ± 1,90 ^a	1 ± 0, 0 ^b	5 ± 3,11 ^a	3,73 ± 2,89 ^a	6,4 ± 2,38 ^a
200	6,53 ± 2,58 ^a	6,6 ± 2,55 ^a	4,6 ± 2,94 ^a	4,6 ± 2,06 ^{ab}	2,13 ± 2,03 ^a	1,06 ± 0,25 ^b	5,26 ± 3,41 ^a	3,53 ± 3,04 ^a	4,86 ± 2,53 ^a
203	5,80 ± 2,83 ^a	6,33 ± 2,63 ^a	4,33 ± 1,95 ^a	5 ± 2,69 ^a	1,93 ± 1,94 ^a	1,13 ± 0,35 ^b	3,4 ± 2,84 ^a	3,4 ± 3,01 ^a	5,33 ± 2,28 ^a
205	6,73 ± 1,94 ^a	6,86 ± 2,29 ^a	4,73 ± 3,05 ^a	4,86 ± 2,99 ^{ab}	2,66 ± 2,52 ^a	1,8 ± 2,07 ^a	3,66 ± 3,17 ^a	2,53 ± 2,47 ^a	5,93 ± 1,94 ^a
300	6,53 ± 2,44 ^a	7 ± 2,10 ^a	6,33 ± 2,71 ^a	2,86 ± 2,16 ^b	1,86 ± 1,50 ^a	1,2 ± 0,56 ^{ab}	4,33 ± 3,08 ^a	3,6 ± 2,87 ^a	5,53 ± 2,41 ^a
307	7 ± 2,39 ^a	6,93 ± 2,28 ^a	5,2 ± 2,65 ^a	4,26 ± 2,63 ^{ab}	2,4 ± 2,13 ^a	1,13 ± 0,51 ^b	4,53 ± 3,41 ^a	2,73 ± 2,40 ^a	5,13 ± 2,26 ^a
314	5,46 ± 3,37 ^a	5,53 ± 2,72 ^a	6,33 ± 2,69 ^a	4,26 ± 2,54 ^{ab}	2,2 ± 1,74 ^a	1,2 ± 0,41 ^{ab}	4,64 ± 3,10 ^a	4,2 ± 3,48 ^a	5,86 ± 2,13 ^a

111 : Abricot sucré séché à 800 W, 112 : Abricot sucré séché à 400 W, 113 : Abricot sucré séché à 200 W, 200 : Abricot salé séché à 800 W, 203 : Abricot salé séché à 400 W, 205 : Abricot salé séché à 200 W, 300 : Abricot traité au bisulfite de sodium séché à 800 W, 307 : Abricot traité au bisulfite de sodium séché à 400 W et 314 : Abricot traité au bisulfite de sodium séché à 200 W.

A, ab, b: dans chaque colonne, les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes au seuil de P < 5% (Méthode de Duncan).

En moyenne, il apparaît que les produits à base d'abricot séchés traités aux solutions de : saccharose, NaCl et bisulfite de sodium à différentes puissances (200,400 et 800 W) sont mieux appréciés pour le test hédonique (aspect, goût et texture en bouche), avec une différence non significative.

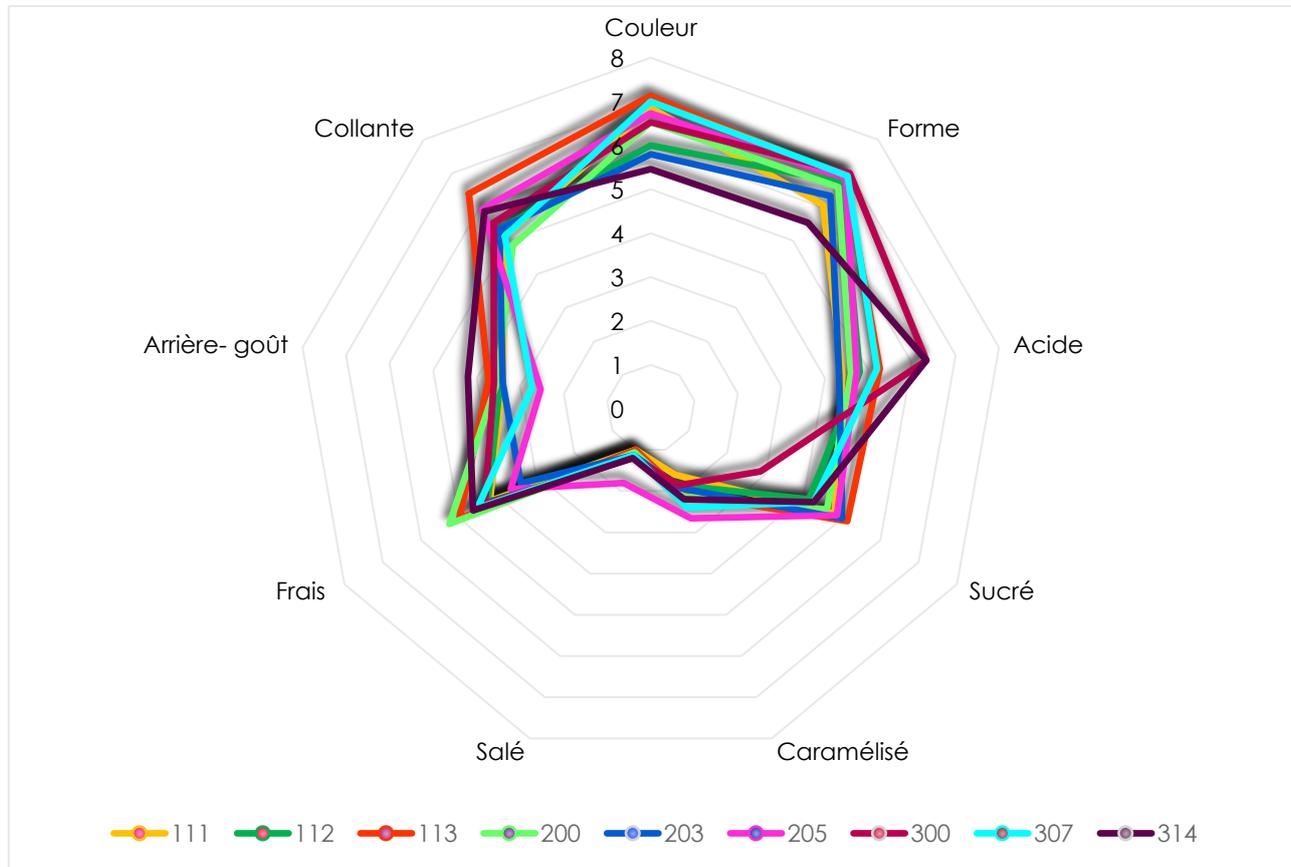


Figure 2 : Profil sensoriel des produits élaborés à base d'abricot

- **Aspect**

D'après le tableau 2 les abricots sucrés séchés à 200 W sont pris la première classe en caractère de la couleur, suivie par les abricots traités au bisulfite de sodium séchés à 400 W et les abricots traités au bisulfite de sodium séchés à 200 W sont enregistrés à la dernière classe. Mais cette différence de la couleur est non significative, est due par le degré d'acceptabilité de dégustateurs.

La forme de tous les produits élaborés à base d'abricot est acceptable par les dégustateurs ; selon le point de vue de dégustateurs.

- **Goût**

Tous les produits élaborés à base d'abricot traités séchés renferment le goût acide et un goût frais. les abricots séchés traités à la solution de bisulfite de sodium sont pris la première classe en caractère de gout acide, suivie par les produits séchés traités à la solution de NaCl et finalement les produits séchés traités au saccharose ; la composition biochimique d'abricot contient déjà des sucres totaux et réducteurs et ainsi l'ajout de sirop de saccharose, ceci explique le goût sucré de ces produits

élaborés ; le séchage et les traitements par solutions de NaCl et bisulfite de sodium utilisé avant le séchage sont les deux facteurs qui responsable à ce caractère (acidité).

Tous les produits élaborés à base d'abricot ne renferment pas le goût salé et de caramel.

Les produits séchés à base d'abricot qui ont un arrière-goût ; le séchage est responsable de ce caractère. La première classe est enregistrée pour les abricots traités au bisulfite de sodium séchés à 200 W.

- **Texture en bouche**

Les produits séchés élaborés ont une texture collante dans la bouche ; la présence des sucres réducteurs responsables à la texture mouleuse de ces produits.

6.4. Conclusion

Le but de ce travail est d'apprécier le degré d'acceptabilité des produits élaborés à base d'abricot séchés à différentes puissances (200, 400 et 800 W) par microonde par les dégustateurs. On peut résumer les caractéristiques organoleptiques des produits formulés sous forme des points suivants : Le résultat du test de classement des produits élaborés par ordre d'importance et selon le nombre de points de dégustateurs est comme suit : l'abricot salé séché à 400 W, puis l'abricot sucré salé séché à 400 W, l'abricot sucré salé séché à 200 W et finalement l'abricot sucré séché à 800 W. Le test hédonique a révélé que tous les paramètres (Aspect, goût et la texture en bouche) sont acceptables par les dégustateurs.

Conclusion générale

Ce travail de thèse a consisté à l'étude de procédé de transformation d'abricot (*Prunus armeniaca* L.) en produit fini par séchage afin de préserver le patrimoine génétique d'abricotier Algérien.

Les résultats obtenus font clairement ressortir que le temps de séchage des abricots traités par solution de NaCl épuisé par micro-onde est nettement court par rapport au temps de séchage des abricots traités par saccharose et bisulfite de sodium par microonde. De même l'expérimentation relative à ce séchage d'abricot a montré que le traitement par NaCl de la variété *Prunus armeniaca* L. possède une bonne texture et couleur même après le séchage par rapport aux d'autres traitements utilisés (saccharose et bisulfite de sodium), cette propriété contribue d'avantage notamment pour la création de nouveau produit à base d'abricot traités par solution de NaCl.

Le modèle proposé par **Bousselma et al (2021)** a modélisé avec précision la cinétique de séchage d'abricot entier traité par NaCl, saccharose et bisulfite de sodium ; il représente donc un excellent outil pour estimer le temps et le rapport d'humidité de séchage de ce fruit par comparaison avec deux modèles d'intelligence artificielle (RNA et SINFA) afin de faciliter les procédés de fabrication et production au niveau des unités de production et des usines agro-alimentaires, gagner du temps et limiter les pertes des produits chimiques au niveau de laboratoire.

Pour les caractéristiques physicochimiques, l'abricot de la région de Bouzina (variété, Rosé) présente une composition biochimique de qualité d'un produit noble ; il est riche en polyphénols, flavonoïdes, activité antioxydante et en apport calorique.

Les paramètres physicochimiques et analyse statistique montrent que la puissance 200 et 400 W de microonde sont les meilleures puissances de séchage d'abricot entier.

Le taux d'activité antioxydante est augmentée chez les produits séchés, ceci se répercute positivement sur le piégeage des radicaux libres.

L'analyse sensorielle a montré une plus grande appréciation pour : l'abricot salé séché à 400 W suivi par l'abricot sucré séché à 400 W, puis l'abricot salé séché à 200 W et finalement l'abricot sucré séché à 800 W. Le test hédonique a révélé que tous les paramètres (Aspect, goût et la texture en bouche) sont acceptables par les dégustateurs.

Les perspectives

Ce travail ne peut s'arrêter ou s'achever à ce point ; mais au contraire, il faut compléter ce travail toujours dans le domaine d'IA et la programmation à savoir :

-La modélisation d'autres bio-processus ;

- Ce travail peut être étendu à d'autres techniques récentes de modélisation et d'optimisation telle que :

- Les approches de modélisation types "boite grise" ;
- D'autres méta-heuristiques d'optimisation (simulated annealing, bee colony optimization, ...).

*Références
bibliographiques*

- Abano, E. E., Akanson, J., & Kizzie-Hayford, N. (2021). Drying Kinetics and Quality of Whole, Halved, and Pulverized Tiger Nut Tubers (*Cyperus esculentus*). *International Journal of Food Science*, 2021, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2021/8870001>
- Abbaspour-Gilandeh, Y., Kaveh, M., & Jahanbakhshi, A. (2019). The effect of microwave and convective dryer with ultrasound pre-treatment on drying and quality properties of walnut kernel. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(11). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14178>
- Abbaspour-Gilandeh, Y., Jahanbakhshi, A., & Kaveh, M. (2020). Prediction kinetic, energy and exergy of quince under hot air dryer using ANNs and ANFIS. *Food Science & Nutrition*, 8(1), 594-611. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1347>
- Adeyi, A. J., Adeyi, O., Ogunsola, A. D., Fajobi, M. O., Ajayi, O. K., Oyelami, S., & Otolurin, J. A. (2020). MOISTURE ABSORPTION CHARACTERISTICS AND ADAPTIVE NEURO FUZZY MODELLING OF AMPELOCISSUS CAVICAULIS FIBER REINFORCED EPOXY COMPOSITE. *LAUTECH Journal of Engineering and Technology*, 14(2), 89-97.
- Agostini, L. R., MJ, M. J., & Ramón, A. N. (2004). Determination of the antioxidant capacity of flavonoids in fruits and fresh and thermally treated vegetables. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 54(1), 89-92.
- Ahmadi, H., Fathollahzadeh, H., & Mobli, H. (2008). Some physical and mechanical properties of apricot fruits, pits and kernels (CV Tabarzeh). *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 3(5), 703-707.
- Akin, E. B., Karabulut, I., & Topcu, A. (2008). Some compositional properties of main Malatya apricot (*Prunus armeniaca* L.) varieties. *Food Chemistry*, 107(2), 939-948. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.052>
- Akpınar, E. K. (2006). Mathematical modelling of thin layer drying process under open sun of some aromatic plants. *Journal of Food Engineering*, 77(4), 864-870.
- Alam, S., Gupta, K., Khaira, H., & Javed, M. (2013). *Quality of dried carrot pomace powder as affected by pretreatments and methods of drying*. 15, 8.
- Albagnac, G., Varoquaux, P. et Montigaud J.C (2002). Technologies de transformation des fruits. (Ed). Tec et Doc - Lavoisier. Paris, 498p.
- Albitar, N. (2010). Etude comparative des procédés de séchage couplés à la texturation par Détente Instantanée Contrôlée DIC, en termes de cinétique et de qualité nutritionnelle. Applications à la valorisation des déchets agro-industriels. Thèse

- de doctorat en Génie des Procédés Industriels. Université de la rochelle. France, 191 p.
- Al Haddad, M. A. (2007). *Contribution théorique et modélisation des phénomènes instantanés dans les opérations d'autovaporisation et de déshydratation*. Thèse de Doctorat. Université de la Rochelle. France, 221p.
- Alibas, I. (2006). Characteristics of Chard Leaves during Microwave, Convective, and Combined Microwave-Convective Drying. *Drying Technology*, 24(11), 1425-1435. <https://doi.org/10.1080/07373930600952776>
- Ali, S., Masud, T., & Abbasi, K. S. (2011). Physico-chemical characteristics of apricot (*Prunus armeniaca* L.) grown in Northern Areas of Pakistan. *Scientia Horticulturae*, 130(2), 386-392. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.05.040>
- Alpaslan, M., & Hayta, M. (2006). Apricot kernel : Physical and chemical properties. *JOURNAL-AMERICAN OIL CHEMISTS SOCIETY*, 83(5), 469.
- A l-Sayed, L., Boy, V., Madieta, E., Mehinagic, E., & Lanoisellé, J.-L. (2018, septembre 11). Pulsed Electric Fields (PEF) as pre-treatment for freeze-drying of plant tissues. *Proceedings of 21th International Drying Symposium*. 21st International Drying Symposium. <https://doi.org/10.4995/IDS2018.2018.7484>
- Amini, G., Salehi, F., & Rasouli, M. (2021). Drying kinetics of basil seed mucilage in an infrared dryer : Application of GA-ANN and ANFIS for the prediction of drying time and moisture ratio. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(3), e15258.
- Amiri Chayjan, R., Kaveh, M., & Khayati, S. (2015). Modeling Drying Characteristics of Hawthorn Fruit under Microwave-Convective Conditions : Hawthorn Fruit Drying under Microwave Convection. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(3), 239-253. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12226>
- Andrés, A., Fito, P., Heredia, A., & Rosa, E. M. (2007). Combined drying technologies for development of high-quality shelf-stable mango products. *Drying Technology*, 25(11), 1857-1866.
- Anizon, J.Y., Lemaire B. et Surbled M. (2006). Extraction assistée par micro-ondes. *Technique d'ingénieur, traité Agroalimentaire*, 2 : 3011-3060.
- Badaoui, O., Hanini, S., Djebli, A., Haddad, B., & Benhamou, A. (2019). Experimental and modelling study of tomato pomace waste drying in a new solar greenhouse :

- Evaluation of new drying models. *Renewable Energy*, 133, 144-155.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.020>
- Bahlouli, F., Tiaiba, A., & Slamani, A. (2008). Etude des différentes méthodes de séchage d'abricot, point sur les méthodes de séchage traditionnelles dans la région du Hodna, wilaya de M'Sila. *Rev. Ener. Renouv. SMSTS*, 8, 61-66.
- Barrett, D. M., & Lloyd, B. (2012). Advanced preservation methods and nutrient retention in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(1), 7-22.
- Bazinet, L., & Castaigne, F. (2011). *Concepts de génie alimentaire : Procédés associés et applications à la conservation des aliments*. Tec et Doc. 568p.
- Bchir, B. (2011). *CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE LA CONSERVATION DES GRAINES DE GRENADE (PUNICA GRANATUM L.) PAR DÉSHYDRATATION OSMOTIQUE*. 212.
- Bentabet, N., Boucherit-Otmani, Z., & Boucherit, K. (2014). Composition chimique et activité antioxydante d'extraits organiques des racines de *Fredolia aretioides* de la région de Béchar en Algérie. *Phytothérapie*, 12(6), 364-371.
- Bernard, P. (1975). *La lyophilisation dans les industries alimentaire*. Compagns Francaise. 2eme édition. Tec et Doc. Paris, 152p.
- Bhat, R., & Paliyath, G. (2012). *Progress in food preservation*. John Wiley & Sons.
- Bimbenet, J. J., Bonazzi, C.O. et Dumouline E. (2002). Séchage, cuisson, cuisson-extrusion. In : *Génie des procédés alimentaires*. .Ed. Dunod. Paris, pp 391-426.
- Boulekbache née Makhlouf, L. (2005). *Activité biologiques et caractérisation des polyphénols extraits d'une plante médicinale*. Thèse de magister, Université Abderahmane Mira. Faculté des Sciences de la Nature et de la vie, 73p.
- BONAZZI, C., & BIMBENET, J.-J. (2003). Séchage des produits alimentaires Principes. *Techniques de l'ingénieur. Agroalimentaire*, 2(F3000), F3000. 1-F3000. 14.
- Bonazzi, C., & Dumoulin, E. (2011). Quality changes in food materials as influenced by drying processes. *Modern drying technology*, 3, 1-20.
- Boudraa, S. (2020). Impact of microwave-grill-drying (MWGD) on functional properties of berry russian olive (*Elaeagnus angustifolia* L.). *Journal of Bioenergy and Food Science*, 7(1), 1-13. <https://doi.org/10.18067/jbfs.v7i1.275>

- Bouhedda, M., Lefnaoui, S., Rebouh, S., & Yahoum, M. M. (2019). Predictive model based on Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for estimation of Cephalexin adsorption on the Octenyl Succinic Anhydride starch. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 193, 103843.
- Bousselma, A., Abdessemed, D., Tahraoui, H., & Amrane, A. (2021). Artificial Intelligence and Mathematical Modelling of the Drying Kinetics of Pre-treated Whole Apricots. *Kemija u industriji*, 70(11-12), 651-667.
- Boyer, J., & Liu, R. H. (2004). Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition journal*, 3(1), 1-15.
- Casquete, R., Castro, S. M., Villalobos, M. C., Serradilla, M. J., Queirós, R. P., Saraiva, J. A., Córdoba, M. G., & Teixeira, P. (2014). High pressure extraction of phenolic compounds from citrus peels. *High Pressure Research*, 34(4), 447-451.
- Celiktas, O. Y., Bedir, E., & Sukan, F. V. (2007). In vitro antioxidant activities of *Rosmarinus officinalis* extracts treated with supercritical carbon dioxide. *Food Chemistry*, 101(4), 1457-1464.
- Chakraverty, A. (2003). Conversion and utilization of biomass. In: *Handbook of postharvest technology: cereals, fruits, vegetables, tea, and spices*, (Eds.) Ramaswamy H.S.Raghavan G.S.V., Chakraverty, A., Mujumdar A.S., Marcel Dekker. New York, pp 797-819.
- Chandra, P. K., & Singh, R. P. (2017). *Applied numerical methods for food and agricultural engineers*. CRC Press.
- Charles, A., Elkaseer, A., Salem, M., Thijs, L., & Scholz, S. (2019). ANN-based modelling of dimensional accuracy in L-PBF. 5.
- Charreau, A. et Cavallé, R. (1995). Séchage- Théorie et Calculs. Revue de *Techniques de l'ingénieur, traite Agroalimentaire* 2480 – 21p.
- Chauhan, S. K., Tyagi, S. M., & Singh, D. (2001). Pectinolytic liquefaction of apricot, plum, and mango pulps for juice extraction. *International Journal of Food Properties*, 4(1), 103-109.
- Cheftel, J.C.L., Cheftel J. et Besancon, P. (1979). Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. (Ed). Tec et Doc.-Lavoisier. Paris, 2 :420p.
- Chen, X. (2008). Food drying fundamentals. In *Drying technologies in food processing* (p.1-52). BPS Blackwell.
- Chong, C. H., Law, C. L., Figiel, A., Wojdyło, A., & Oziembłowski, M. (2013). Colour,

- phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. *Food chemistry*, 141(4), 3889-3896.
- Ciurzyńska, A., Kowalska, H., Czajkowska, K., & Lenart, A. (2016). Osmotic dehydration in production of sustainable and healthy food. *Trends in Food Science & Technology*, 50, 186-192. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.017>
- Cui, L., Zhang, Z., Li, H., Li, N., Li, X., & Chen, T. (2017). Optimization of Ultrasound Assisted Extraction of Phenolic Compounds and Anthocyanins from Perilla Leaves Using Response Surface Methodology. *Food Science and Technology Research*, 23(4), 535-543. <https://doi.org/10.3136/fstr.23.535>
- Dai, J.-W., Xiao, H.-W., Zhang, L.-H., Chu, M.-Y., Qin, W., Wu, Z.-J., Han, D.-D., Li, Y.-L., Liu, Y.-W., & Yin, P.-F. (2019). Drying characteristics and modeling of apple slices during microwave intermittent drying. *Journal of Food Process Engineering*, 42(6), e13212.
- Darvishi, H. (2012). Energy consumption and mathematical modeling of microwave drying of potato slices. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(1), 94-102.
- da Silva, W. P., e Silva, C. M., de Sousa, J. A., & Farias, V. S. (2013). Empirical and diffusion models to describe water transport into chickpea (*Cicer arietinum* L.). *International journal of food science & technology*, 48(2), 267-273.
- Dasore, A., Polavarapu, T., Konijeti, R., & Puppala, N. (2020). CONVECTIVE HOT AIR DRYING KINETICS OF RED BEETROOT IN THIN LAYERS. *Frontiers in Heat and Mass Transfer*, 14. <https://doi.org/10.5098/hmt.14.23>
- Dayan, A. (2001). *Le Marketing. Que sais-je*, 10ème édition. ISBN 2 :1305-1699.
- Défo, M. (1994). *Modélisation du séchage du bois sous vide par contact : l'approche du potentiel hydrique*. Thèse de doctorat en philosophie. Université Laval, Québec. 246p.
- Deng, L.-Z., Mujumdar, A. S., Zhang, Q., Yang, X.-H., Wang, J., Zheng, Z.-A., Gao, Z.-J., & Xiao, H.-W. (2019). Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes – a comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(9), 1408-1432. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1409192>
- DERRARDJA , A. E., M. (2014). *Impact de deux procédés technologiques (jus et confiture) et du séchage sur les polyphénols et les caroténoïdes de l'abricot*. 161.

- Dermesonlouoglou, E. K., Pourgouri, S., & Taoukis, P. S. (2008). Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment to the shelf life of frozen cucumber. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(4), 542-549. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.01.002>
- Díaz, G. R., Martínez-Monzo, J., Fito, P., & Chiralt, A. (2003). Modelling of dehydration-rehydration of orange slices in combined microwave/air drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 4(2), 203-209.
- DİRİM, S. N., Talih, M., & KOÇ, G. Ç. (2019). DRYING CHARACTERISTICS OF RED BEET (BETA VULGARIS ESCULENTACRUENTA) PUREE IN A MICROWAVE OVEN. *Gıda*, 44(4), 654-671.
- Djebli, A., Hanini, S., Badaoui, O., Haddad, B., & Benhamou, A. (2020). Modeling and comparative analysis of solar drying behavior of potatoes. *Renewable Energy*, 145, 1494-1506. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.083>
- Djendoubi Mrad, N., Boudhrioua, N., Kechaou, N., Courtois, F., & Bonazzi, C. (2012). Influence of air drying temperature on kinetics, physicochemical properties, total phenolic content and ascorbic acid of pears. *Food and Bioprocess Processing*, 90(3), 433-441. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.11.009>
- Djerroud, D. (2010). Modélisation markovienne du séchage continu par contact avec agitation. Thèse de doctorat en génie des procédés et de l'environnement. Université de Toulouse ,166 p.
- Doymaz, I. (2007). The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. *Journal of food engineering*, 79(1), 243-248.
- Dragovic-Uzelac, V., Levaj, B., Mrkic, V., Bursac, D., & Boras, M. (2007). The content of polyphenols and carotenoids in three apricot cultivars depending on stage of maturity and geographical region. *Food chemistry*, 102(3), 966-975.
- Dutta, B., Raghavan, G. S. V., Dev, S. R. S., Liplap, P., Murugesan, R., Anekella, K., & Kaushal, T. (2012). A comparative study on the effects of microwave and high electric field pretreatments on drying kinetics and quality of mushrooms. *Drying Technology*, 30(8), 891-897.
- DSA Batna, 2021. Données statistiques sur l'abricotier. Direction des services agricoles de la wilaya de Batna.

- Erbay, Z., & Icier, F. (2010). A review of thin layer drying of foods : Theory, modeling, and experimental results. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50(5), 441-464.
- Erdogan-Orhan, I., & Kartal, M. (2011). Insights into research on phytochemistry and biological activities of *Prunus armeniaca* L.(apricot). *Food Research International*, 44(5), 1238-1243.
- Erenturk, K., Kose, B., & Erenturk, S. (2020). Fractional order calculus approach for drying modeling of eggplants. *Food Science and Technology International*, 26(5), 379-387. <https://doi.org/10.1177/1082013219895852>
- FAOSTAT, (2017). Productions agricoles données statistiques. [PDF]. Disponible sur : <http://www.Fao.org.>, Consulté le 18/05/2020.
- FAO. (2019). Agro-statistics Database.Food nd Agriculture Organisation of the United Nations.Rome. <http://www.faostat.fao.org/>
- Feng, H., Yin, Y., & Tang, J. (2012). Microwave drying of food and agricultural materials : Basics and heat and mass transfer modeling. *Food Engineering Reviews*, 4(2), 89-106.
- Feng, S., Luo, Z., Tao, B., & Chen, C. (2015). Ultrasonic-assisted extraction and purification of phenolic compounds from sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) rinds. *LWT-Food Science and Technology*, 60(2), 970-976.
- Fernando, J. A. K. M., & Amarasinghe, A. D. U. S. (2016). Drying kinetics and mathematical modeling of hot air drying of coconut coir pith. *SpringerPlus*, 5(1), 807. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2387-y>
- Fito, P., Chiralt, A. et Martin, E.M. (2005). Current State of Microwave Applications to Food Processing. Universidad Politecnica de Valencia, Valencia, Spain. 535 p.
- Fournier, V. (2003). Conservation des aliments. Université Laval, Canada; 16 p.
- García-Martínez, E., Igual, M., Martín-Esparza, M. E., & Martínez-Navarrete, N. (2013). Assessment of the Bioactive Compounds, Color, and Mechanical Properties of Apricots as Affected by Drying Treatment. *Food and Bioprocess Technology*, 6(11), 3247-3255. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0988-1>
- Ghafoor, K., Choi, Y. H., Jeon, J. Y., & Jo, I. H. (2009). Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Phenolic Compounds, Antioxidants, and Anthocyanins from Grape (*Vitis vinifera*) Seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(11), 4988-4994. <https://doi.org/10.1021/jf9001439>

- Ghimire, A., Basnet, S., Poudel, R., & Ghimire, A. (2020). Mathematical modeling of thin layer microwave drying of Jaya fish (*Aspidoparia jaya*). *Food Science and Technology International*, 108201322096935. <https://doi.org/10.1177/1082013220969353>
- Giri, S. K., & Prasad, S. (2007). Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. *Journal of food engineering*, 78(2), 512-521.
- Gökçe Kocabay, Ö., & İsmail, O. (2017). Investigation of rehydration kinetics of open-sun dried okra samples. *Heat and Mass Transfer*, 53(6), 2155-2163. <https://doi.org/10.1007/s00231-017-1972-0>
- Gowen, A.A. (2012). Water and food quality. Contemporary Materials. Paris, 37 p.
- Granato, D., & Masson, M. L. (2010). Instrumental color and sensory acceptance of soy-based emulsions: A response surface approach. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30(4), 1090-1096. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000400039>
- Grimplet. (2004). Génomique fonctionnelle et marqueurs de qualité chez l'abricot. Thèse de Doctorat In *Sciences-New York*, 253p.
- Guerra, A. S. (2008). *Métrologie sensorielle dans le cadre du contrôle qualité visuel*. Thèse de doctorat en génie industriel. Université de Savoie. Français, 225p.
- Guiné, R. P., Pinho, S., & Barroca, M. J. (2011). Study of the convective drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*). *Food and bioproducts processing*, 89(4), 422-428.
- Güçlü, K., Altun, M., Özyürek, M., Karademir, S. E., & Apak, R. (2006). Antioxidant capacity of fresh, sun-and sulphited-dried Malatya apricot (*Prunus armeniaca*) assayed by CUPRAC, ABTS/TEAC and folin methods. *International journal of food science & technology*, 41, 76-85.
- Güler, H. Ö., Sözen, A., Tuncer, A. D., Afshari, F., Khanlari, A., Şirin, C., & Gungor, A. (2020). Experimental and CFD survey of indirect solar dryer modified with low-cost iron mesh. *Solar Energy*, 197, 371-384. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.01.021>
- Guo, Y., Wu, B., Guo, X., Ding, F., Pan, Z., & Ma, H. (2020). Effects of power ultrasound enhancement on infrared drying of carrot slices : Moisture migration and quality characterizations. *LWT*, 126, 109312. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109312>

- Haberl Meglič, S., Vorobiev, E., & Miklavčič, D. (2021). Editorial : Pulsed Electric Fields in Biotechnology. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 639150. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.639150>
- Hacıseferoğulları, H., Gezer, I., Özcan, M. M., & MuratAsma, B. (2007). Post-harvest chemical and physical–mechanical properties of some apricot varieties cultivated in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 364-373.
- Hasib, A., Jaouad, A., Mahrouz, M., & Khouili, M. (2002). Hplc determination of organic acids in moroccan apricot determinación por hplc de ácidos orgánicos en albaricoque marroquí determinación por hplc de ácidos orgánicos en albaricoque marroquí. *Ciencia- y Tecnología Alimentaria*, 3(4), 207-211. <https://doi.org/10.1080/11358120209487729>
- Hammoudi, A., Moussaceb, K., Belebchouche, C., & Dahmoune, F. (2019). Comparison of artificial neural network (ANN) and response surface methodology (RSM) prediction in compressive strength of recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, 209, 425-436. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.119>
- Hashim, N., Daniel, O., & Rahaman, E. (2014). A Preliminary Study : Kinetic Model of Drying Process of Pumpkins (*Cucurbita Moschata*) in a Convective Hot Air Dryer. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 345-352. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.048>
- Hasib, A., Jaouad, A., Mahrouz, M., & Khouili, M. (2002). HPLC DETERMINATION OF ORGANIC ACIDS IN MOROCCAN APRICOT DETERMINACIÓN POR HPLC DE ÁCIDOS ORGÁNICOS EN ALBARICOQUE MARROQUÍ DETERMINACIÓN POR HPLC DE ÁCIDOS ORGÁNICOS EN ALBARICOQUE MARROQUÍ. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 3(4), 207-211. <https://doi.org/10.1080/11358120209487729>
- Hill, J. M., & Marchant, T. R. (1996). Modelling microwave heating. *Applied Mathematical Modelling*, 20(1), 3-15.
- Hiranvarachat, B., Devahastin, S., & Chiewchan, N. (2011). Effects of acid pretreatments on some physicochemical properties of carrot undergoing hot air drying. *Food and bioproducts processing*, 89(2), 116-127.
- Hoover, K. (2019). *Understand human olfactory ecology and the methodological challenges in field-testing olfactory ability*. 24.

- Hormaza, J. I., Yamane, H., & Rodrigo, J. (2007). Apricot. In *Fruits and nuts* (p. 171-187). Springer.
- Horuz, E., & Maskan, M. (2015). Hot air and microwave drying of pomegranate (*Punica granatum L.*) arils. *Journal of Food Science and Technology*, *52*(1), 285-293.
- Horuz, E., Bozkurt, H., Karataş, H., & Maskan, M. (2017). Drying kinetics of apricot halves in a microwave-hot air hybrid oven. *Heat and Mass Transfer*, *53*(6), 2117-2127. <https://doi.org/10.1007/s00231-017-1973-z>
- Howlett, J. (2008). *Functional foods : From science to health and claims*. ILSI Europe.
- Huang, W., Xue, A., Niu, H., Jia, Z., & Wang, J. (2009). Optimised ultrasonic-assisted extraction of flavonoids from *Folium eucommiae* and evaluation of antioxidant activity in multi-test systems in vitro. *Food Chemistry*, *114*(3), 1147-1154. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.079>
- Huang, W., Bi, X., Zhang, X., Liao, X., Hu, X., & Wu, J. (2013). Comparative study of enzymes, phenolics, carotenoids and color of apricot nectars treated by high hydrostatic pressure and high temperature short time. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *18*, 74-82. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.01.001>
- Hui, Y. H. (2010). *HANDBOOK OF FRUIT AND VEGETABLE FLAVORS*.
- Iannario, M., Manisera, M., Piccolo, D., & Zuccolotto, P. (2012). *Sensory analysis in the food industry as a tool for marketing decisions*. 20.
- Icier, F. (2010). Ohmic blanching effects on drying of vegetable byproduct. *Journal of Food Process Engineering*, *33*(4), 661-683.
- Igual, M., García-Martínez, E., Martín-Esparza, M. E., & Martínez-Navarrete, N. (2012). Effect of processing on the drying kinetics and functional value of dried apricot. *Food Research International*, *47*(2), 284-290. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.07.019>
- İncedayi, B., Tamer, C. E., Sinir, G. Ö., Suna, S., & Çopur, Ö. U. (2016). Impact of different drying parameters on color, β -carotene, antioxidant activity and minerals of apricot (*Prunus armeniacaL.*). *Food Science and Technology*, *36*(1), 171-178.
- Ingle, M., Tapre, A. R., & Nawkar, R. (2019). Drying Kinetics and Mathematical Modeling of Bottle Gourd. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 1-8. <https://doi.org/10.9734/cjast/2019/v38i530382>

- Ishaq, S., Rathore, H. A., Majeed, S., Awan, S., & Zulfiqar-Ali-Shah, S. (2009). The studies on the physico-chemical and organoleptic characteristics of apricot (*Prunus armeniaca* L.) produced in Rawalakot, Azad Jammu and Kashmir during storage. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(6), 856-860.
- İzli, G. (2018). Effects of different drying applications on some quality characteristics of pear fruit. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6(4), 479-485.
- Izli, N., & Polat, A. (2019). Effect of convective and microwave methods on drying characteristics, color, rehydration and microstructure properties of ginger. *Food Science and Technology*, 39(3), 652-659.
- Jahanbakhshi, A., Kaveh, M., Taghinezhad, E., & Rasooli Sharabiani, V. (2020). Assessment of kinetics, effective moisture diffusivity, specific energy consumption, shrinkage, and color in the pistachio kernel drying process in microwave drying with ultrasonic pretreatment. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(6). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14449>
- Jahedi Rad, S., Kaveh, M., Sharabiani, V. R., & Taghinezhad, E. (2018). Fuzzy logic, artificial neural network and mathematical model for prediction of white mulberry drying kinetics. *Heat and Mass Transfer*, 54(11), 3361-3374.
- Jazini, M. H., & Hatamipour, M. S. (2010). A new physical pretreatment of plum for drying. *Food and Bioprocesses Processing*, 88(2-3), 133-137.
- Jean, L.C. (2002). Printemps des sciences, L'Énergie Sous Toutes Ses Formes. Les microondes. Paris ,48 p.
- Kalra Ekta, K. (2003). Nutraceutical-Definition and introduction. *AAPS Pharm*, 1-2.
- Karatas, F., & Kanişlı, F. (2007). Variations of vitamins (A, C and E) and MDA in apricots dried in IR and microwave. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 662-668.
- Karaaslan, S., Ekinci, K., & Akbolat, D. (2017). *DRYING CHARACTERISTICS OF SULTANA GRAPE FRUIT IN MICROWAVE DRYER*. 12.
- Karaat, F. E., & Serçe, S. (2019). *Karaat f.e., serçe s.* 46-60.
- Kaveh, M., Chayjan, R. A., & Khezri, B. (2018). Modeling Drying Properties of Pistachio Nuts, Squash and Cantaloupe Seeds under Fixed and Fluidized Bed Using Data-Driven Models and Artificial Neural Networks. *International Journal of Food Engineering*, 14(1), 20170248. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2017-0248>

- Kaveh, M., Rasooli Sharabiani, V., Amiri Chayjan, R., Taghinezhad, E., Abbaspour-Gilandeh, Y., & Golpour, I. (2018). ANFIS and ANNs model for prediction of moisture diffusivity and specific energy consumption potato, garlic and cantaloupe drying under convective hot air dryer. *Information Processing in Agriculture*, 5(3), 372-387. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.05.003>
- Kaveh, M., Abbaspour-Gilandeh, Y., & Chen, G. (2020). Drying kinetic, quality, energy and exergy performance of hot air-rotary drum drying of green peas using adaptive neuro-fuzzy inference system. *Food and Bioproducts Processing*, 124, 168-183. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.08.011>
- Kaveh, M., Chayjan, R. A., Golpour, I., Poncet, S., Seirafi, F., & Khezri, B. (2021). Evaluation of exergy performance and onion drying properties in a multi-stage semi-industrial continuous dryer: Artificial neural networks (ANNs) and ANFIS models. *Food and Bioproducts Processing*, 127, 58-76. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.02.010>
- Kayran, S., & Doymaz, İ. (2017). Determination of drying kinetics and physicochemical characterization of apricot pomace in hot-air dryer. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 130(2), 1163-1170. <https://doi.org/10.1007/s10973-017-6504-0>
- Kemp, I. C., Fyhr, B. C., Laurent, S., Roques, M. A., Groenewold, C. E., Tsotsas, E., Sereno, A. A., Bonazzi, C. B., Bimbenet, J.-J., & Kind, M. (2001). Methods for processing experimental drying kinetics data. *Drying technology*, 19(1), 15-34.
- Kerdudo, A. (2014). Optimisation de la conservation des cosmétiques-impact de la formulation, recherche de nouveaux conservateurs naturels, encapsulation. Thèse de doctorat en sciences de l'université de nice – sophia antipoli, 232p.
- Keskes, S., Hanini, S., Hentabli, M., & Laidi, M. (2020). Artificial Intelligence and Mathematical Modelling of the Drying Kinetics of Pharmaceutical Powders. *Kemija u Industriji*, 69(3-4), 137-152. <https://doi.org/10.15255/KUI.2019.038>
- Khazae Poul, A., Shourian, M., & Ebrahimi, H. (2019). A Comparative Study of MLR, KNN, ANN and ANFIS Models with Wavelet Transform in Monthly Stream Flow Prediction. *Water Resources Management*, 33(8), 2907-2923. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02273-0>
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., & Mousazadeh, H. (2014). Development of an intelligent system based on ANFIS for predicting wheat grain yield on the

- basis of energy inputs. *Information Processing in Agriculture*, 1(1), 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2014.04.001>
- Kingsly, R. P., Goyal, R. K., Manikantan, M. R., & Ilyas, S. M. (2007). Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behaviour of peach slice. *International Journal of Food Science & Technology*, 42(1), 65-69. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01210.x>
- Kipcak, A. S. (2017). Microwave drying kinetics of mussels (*Mytilus edulis*). *Research on Chemical Intermediates*, 43(3), 1429-1445. <https://doi.org/10.1007/s11164-016-2707-4>
- Koua, K. B., Fassinou, W. F., Gbaha, P., & Toure, S. (2009). Mathematical modelling of the thin layer solar drying of banana, mango and cassava. *Energy*, 34(10), 1594-1602. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.07.005>
- Kowalska, H., Lenart, A., & Leszczyk, D. (2008). The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin. *Journal of Food Engineering*, 86(1), 30-38. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.09.006>
- Lahmari, N., Fahloul, D., & Azani, I. (2012). Influence des méthodes de séchage sur la qualité des tomates séchées (variété Zahra). *Journal of Renewable Energies*, 15(2), 285-295.
- Leccese, A., Bartolini, S., & Viti, R. (2007). Total antioxidant capacity and phenolics content in apricot fruits. *International Journal of Fruit Science*, 7(2), 3-16.
- Lekbir, A., Lombarkia, O. A., Haddad, S., Mizane, B., Noui, Y., Abdeddaim, M., Baississe, S., & Ferhat, R. (2015). Phenolic contents and antioxidant activity of six algerian date palm (*Phoenix dactylifera* L.) Cultivars. *Annals: Food Science and Technology*, 15, 201-206.
- Lichou, J., Jay, M., Vaysse, P., & Lespinasse, N. (2003). *Do you recognize the Apricot varieties*. Paris. Ursell, A. (2002). Grand guide hachette des aliments santé. Ed Française, 255p.
- Ling, F., & Sun, T. (2021). Study on the drying characteristics of rice by microwave and hot air drying. *The Journal of Engineering*, 2021(4), 201-208. <https://doi.org/10.1049/tje2.12027>
- Liu, Z.-L., Bai, J.-W., Wang, S.-X., Meng, J.-S., Wang, H., Yu, X.-L., Gao, Z.-J., & Xiao, H.-W. (2020). Prediction of energy and exergy of mushroom slices drying in hot air impingement dryer by artificial neural network. *Drying Technology*, 38(15), 1959-1970. <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1607873>

- Lucchesi, M.E. (2005). Extraction sans solvant assistée par Micro-ondes conception et application à l'extraction des huiles essentielles. Thèse de doctorat. Université de la Réunion, France ,146p.
- Madrau, M. A., Piscopo, A., Sanguinetti, A. M., Del Caro, A., Poiana, M., Romeo, F. V., & Piga, A. (2009). Effect of drying temperature on polyphenolic content and antioxidant activity of apricots. *European Food Research and Technology*, 228(3), 441-448. <https://doi.org/10.1007/s00217-008-0951-6>
- Magnen, (1998). Évaluation sensorielle, manuelle méthodologique. SSHA, 2ème Ed Lavoisier Tec-Doc, 345p.
- Marvdashti, L. M., Sharifi-rad, J., Abdolshahi, A., Sharifi-rad, R., & Maggi, F. (2020). *Optimization of edible Alyssum homalocarpum seed gum-chitosan coating formulation to improve the postharvest storage potential and quality of apricot (Prunus armeniaca L.)*. September 2018, 1-9. <https://doi.org/10.1111/jfs.12805>
- Maskan, M. (2000). Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of food engineering*, 44(2), 71-78.
- Maskan, M. (2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of food engineering*, 48(2), 177-182.
- Mathavi, V., Sujatha, G., Ramya, S. B., & Devi, B. K. (2013). New trends in food processing. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 5(2), 176.
- Mbegbu, N. N., Nwajinka, C. O., & Amaefule, D. O. (2021). Thin layer drying models and characteristics of scent leaves (*Ocimum gratissimum*) and lemon basil leaves (*Ocimum africanum*). *Heliyon*, 7(1), e05945. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05945>
- Mikula, S. (1992). Mise au point d'un pilote micro-ondes multifonction en vue d'un séchage d'algues alimentaires. Valorisation des produits de la pêche. Paris, 45 p.
- Miller G.L. (1959). Use of dinitrossalysilic reagent for determination of residual sugar. *Analytica Chemecl*, 31:426-428.
- Miranda, M., Maureira, H., Rodriguez, K., & Vega-Gálvez, A. (2009). Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant

- capacity of Aloe Vera (*Aloe Barbadensis* Miller) gel. *Journal of Food Engineering*, 91(2), 297-304.
- Mounir, S., Téllez-Pérez, C., Alonzo-Macías, M., & Allaf, K. (2014). Swell-drying. In *Instant Controlled Pressure Drop (DIC) in Food Processing* (p. 3-43). Springer.
- Mujumdar Arun, S., & Law, C. L. (2010). Trends and applications in postharvest processing drying technology. *Food and Bioprocess Technology*, 3(6), 843-852.
- Mukhopadhyay, S., Majumdar, G. C., Goswami, T. K., & Mishra, H. N. (2013). Fuzzy logic (similarity analysis) approach for sensory evaluation of chhana podo. *LWT - Food Science and Technology*, 53(1), 204-210. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.01.013>
- Murray, J. M., Delahunty, C. M., & Baxter, I. A. (2001). Descriptive sensory analysis: Past, present and future. *Food Research International*, 34(6), 461-471. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00070-9](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00070-9)
- Nadeau, J.P. et Puiggali, J.R. (1995). Séchage : des processus physiques aux processus Industriels, Tec et Doc-Lavoisier, 307 p.
- Nayak, P. K., Mohan, C. C., & Radhakrishnan, K. (2018). Effect of microwave pretreatment on the color degradation kinetics in mustard greens (*Brassica juncea*). *Chemical Engineering Communications*, 205(9), 1261-1273. <https://doi.org/10.1080/00986445.2018.1446003>
- Nguyen, T. H. (2015). *Étude expérimentale et modélisation du procédé de séchage des végétaux*. Université de Bretagne Sud.
- Noui, Y. (2016). *Fabrication et caractérisation des produits alimentaires élaborés à partir de trois variétés de dates (phoenix dactylifera L)*. Thèse de Doctorat. Université de Batna 1-Hadj Lakhder, 161p.
- Nowacka, M., Wiktor, A., Anuszevska, A., Dadan, M., Rybak, K., & Witrowa-Rajchert, D. (2019). The application of unconventional technologies as pulsed electric field, ultrasound and microwave-vacuum drying in the production of dried cranberry snacks. *Ultrasonics Sonochemistry*, 56, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.03.023>
- Ochoa, M. R., Kessler, A. G., Pirone, B. N., Márquez, C. A., & De Michelis, A. (2002). Shrinkage during convective drying of whole rose hip (*Rosa rubiginosa* L.) fruits. *LWT-Food Science and Technology*, 35(5), 400-406.
- Ojediran, J. O., Okonkwo, C. E., Adeyi, A. J., Adeyi, O., Olaniran, A. F., George, N. E., & Olayanju, A. T. (2020). Drying characteristics of yam slices (*Dioscorea*

- rotundata) in a convective hot air dryer : Application of ANFIS in the prediction of drying kinetics. *Heliyon*, 6(3), e03555. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03555>
- Olabinjo, O. O., & Adeniyi, A. T. (2020). Modelling the Drying Kinetics of Monkey Cola (*Cola parviflora*). *Sci. Modell. and Res*, 5(1), 1-13.
- Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R. B., Nawi, N. M., & Abdan, K. (2016). Modeling the Thin-Layer Drying of Fruits and Vegetables : A Review: Thin-layer models of fruits and vegetables.... *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 599-618. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12196>
- Onu, C. E., K. Igbokwe, P., T. Nwabanne, J., O. Nwajinka, C., & E. Ohale, P. (2020). Evaluation of optimization techniques in predicting optimum moisture content reduction in drying potato slices. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 39-47. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2020.04.001>
- Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R. B., Nawi, N. M., & Abdan, K. (2016). Modeling the Thin-Layer Drying of Fruits and Vegetables : A Review: Thin-layer models of fruits and vegetables.... *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 599-618. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12196>
- Oomah, B. D. (2001). Flaxseed as a functional food source. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9), 889-894. <https://doi.org/10.1002/jsfa.898>
- Ousmana, H., Hmaid, A. E., Berrada, M., Damnati, B., Etabaai, I., & Essahlaoui, A. (2018). *Development of a Neural Network approach for Predicting nitrate and sulfate concentration in three lakes : Ifrah, Iffer and Afourgagh, Middle Atlas Morocco*. 10.
- Oyebola Odunayo, O., & Adedotun Timothy, A. (2020). Modelling the Drying Kinetics of Monkey Cola (*Cola Parviflora*). *Scientific Modelling and Research*, 5(1), 1-13. <https://doi.org/10.20448/808.5.1.1.13>
- Özbek, B., & Dadali, G. (2007). Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. *Journal of Food Engineering*, 83(4), 541-549. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.004>
- Özdemir, M., & Onur Devres, Y. (1999). The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering*, 42(4), 225-233. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00126-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00126-0)
- Ozkan, I. A., Akbudak, B., & Akbudak, N. (2007). Microwave drying characteristics of spinach. *Journal of food engineering*, 78(2), 577-583.

- Panchariya, P. C., Popovic, D., & Sharma, A. L. (2002). Thin-layer modelling of black tea drying process. *Journal of food engineering*, 52(4), 349-357.
- Parry, J. L. (1985). Mathematical modelling and computer simulation of heat and mass transfer in agricultural grain drying : A review. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 32(1), 1-29. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(85\)90116-7](https://doi.org/10.1016/0021-8634(85)90116-7)
- Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A. J. (2013). Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods : A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 36-60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
- Pillai, M. G., Simha, P., & Gugalia, A. (2013). *Estimation of Effective Moisture Diffusivity during Microwave Drying of Plaster of Paris*. 11.
- Pradeep, S. R., & Guha, M. (2011). Effect of processing methods on the nutraceutical and antioxidant properties of little millet (*Panicum sumatrense*) extracts. *Food chemistry*, 126(4), 1643-1647.
- Raoux, R. (1998). Méthodologie et spécificités de l'analyse sensorielle dans le domaine des corpsgras. *Institut des Corps Gras*, 26 (3) : 66-71.
- Ribereau-gayon, P. (1972). Evolution des composés phénoliques au cours de la maturation du raisin, II-Discussion des résultats obtenus en 1969, 1970 et 1971. *OENO One*, 6(2), 161-175.
- Rodríguez, J., Cárcel, J., Clemente, G., Peña, R., & Bon, J. (2011). Modeling drying kinetics of thyme (*Thymus vulgaris*). *proceedings of Euro Drying*.
- Rojas, M. L., Augusto, P. E. D., & Cárcel, J. A. (2020). Ethanol pre-treatment to ultrasound-assisted convective drying of apple. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 61, 102328. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102328>
- Ruiz-Rodríguez, B.-M., Morales, P., Fernández-Ruiz, V., Sánchez-Mata, M.-C., Cámara, M., Roman, M. C., Fabani, M. P., Luna, L. C., Feresin, G. E., Mazza, G., & Rodriguez, R. (2020). Convective drying of yellow discarded onion (Angaco INTA) : Modelling of moisture loss kinetics and effect on phenolic compounds. *Information Processing in Agriculture*, 7(2), 333-341.
- Ruiz, D., Egea, J., Tomás-Barberán, F. A., & Gil, M. I. (2005). Carotenoids from New Apricot (*Prunus armeniaca* L.) Varieties and Their Relationship with Flesh and Skin Color. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(16), 6368-6374. <https://doi.org/10.1021/jf0480703>

- Sacilik, K., Keskin, R., & Elicin, A. K. (2006). Mathematical modelling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato. *Journal of Food Engineering*, 73(3), 231-238. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.025>
- Sadadou, A., Hanini, S., Laidi, M., & Rezrazi, A. (2021). ANN-based Approach to Model MC/DR of Some Fruits under Solar Drying. *Kemija u Industriji*, 5-6. <https://doi.org/10.15255/KUI.2020.050>
- Sakoei-Vayghan, R., Peighambardoust, S. H., Domínguez, R., Pateiro, M., & Lorenzo, J. M. (2021). Quality Characteristics of Semi-Moist Apricot-Cornflakes: Effect of Different Composite Coating Application and Storage Time. *Coatings*, 11(5), 516. <https://doi.org/10.3390/coatings11050516>
- Salehi, F., & Satorabi, M. (2021). Influence of Infrared Drying on Drying Kinetics of Apple Slices Coated with Basil Seed and Xanthan Gums. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 519-527. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1908202>
- Satorabi, M., Salehi, F., & Rasouli, M. (2021). The Influence of Xanthan and Balangu Seed Gums Coats on the Kinetics of Infrared Drying of Apricot Slices : GA-ANN and ANFIS Modeling. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 468-480. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1898520>
- Schmitt, A., Le Blanc, B., Corsini, M.-M., Lafond, C., & Brůžek, J. (2001). Les réseaux de neurones artificiels. Un outil de traitement de données prometteur pour l'anthropologie. *Bulletins et mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris. BMSAP*, 13(13 (1-2)).
- Sefer, F., Misirli, A., & Gülcan, R. (2001). A research on phenolic and cyanogenic compounds in sweet and bitter kernelled apricot varieties. *XII International Symposium on Apricot Culture and Decline 701*, 167-170.
- Senadeera, Wijitha, Bhandari, Bhesh R., Young, Gordon, & Wijesinghe, Bandu (2000). Physical property changes of fruits and vegetables during hot air drying. In Mujumdar, Arun S. (Ed.) *Drying technology in agriculture and food sciences*. Science Publishers, USA, pp. 149-166.
- Serratos, M. P., Lopez-Toledano, A., Medina, M., & Merida, J. (2008). Drying of Pedro Ximenez grapes in chamber at controlled temperature and with dipping pretreatments. Changes in the color fraction. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(22), 10739-10746.

- Shaik, M. A., & Verma, D. (2020). Enhanced ANN training model to smooth and time series forecast. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 981, 022038. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/981/2/022038>
- Sharma, G. P., & Prasad, S. (2006). Optimization of process parameters for microwave drying of garlic cloves. *Journal of Food Engineering*, 75(4), 441-446.
- Sharma, S., Satpathy, G., & Gupta, R. K. (2015). *Nutritional, phytochemical, antioxidant and antimicrobial activity of Prunus armenicus*. 6.
- Sharma, M., & Bhat, R. (2021). Extraction of Carotenoids from Pumpkin Peel and Pulp : Comparison between Innovative Green Extraction Technologies (Ultrasonic and Microwave-Assisted Extractions Using Corn Oil). *Foods*, 10(4), 787. <https://doi.org/10.3390/foods10040787>
- Smida, M. A. B., Bolje, A., Ouerhani, A., Barhoumi, M., Mejri, H., & Fehri-Bedoui, R. (2014). Effects of Drying on the Biochemical Composition of *Atherina boyeri* from the Tunisian Coast. *Food and Nutrition Sciences*, 5(14), 1399.
- Sogi, D. S., Siddiq, M., & Dolan, K. D. (2015). Total phenolics, carotenoids and antioxidant properties of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 564-568. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.015>
- Soltanzadeh, M., Peighambaroust, S. H., Ghanbarzadeh, B., Mohammadi, M., & Lorenzo, J. M. (2021). Chitosan Nanoparticles as a Promising Nanomaterial for Encapsulation of Pomegranate (*Punica granatum L.*) Peel Extract as a Natural Source of Antioxidants. *Nanomaterials*, 11(6), 1439. <https://doi.org/10.3390/nano11061439>
- Süfer, Ö., Sezer, S., & Demir, H. (2017). Thin layer mathematical modeling of convective, vacuum and microwave drying of intact and brined onion slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(6), e13239. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13239>
- Szadzińska, J., Łechtańska, J., Pashminehazar, R., Kharaghani, A., & Tsotsas, E. (2019). Microwave-and ultrasound-assisted convective drying of raspberries : Drying kinetics and microstructural changes. *Drying Technology*, 37(1), 1-12.
- Tabasum, F., Omari, B., Gousia, G., T, B., & Nusrat, J. (2018). Nutritional and health benefits of apricots. *International Journal of Unani and Integrative Medicine*, 2(2), 5-9.

- Taheri, M. E., Salimi, E., Saragas, K., Novakovic, J., Barampouti, E. M., Mai, S., Malamis, D., Moustakas, K., & Loizidou, M. (2021). Effect of pretreatment techniques on enzymatic hydrolysis of food waste. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 11(2), 219-226. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00729-7>
- Tahraoui, H., Belhadj, A. E., & Hamitouche, A. E. (2020). Prediction of the Bicarbonate Amount in Drinking Water in the Region of Médéa Using Artificial Neural Network Modelling. *Kemija u Industriji*, 69(11-12), 595-602. <https://doi.org/10.15255/KUI.2020.002>
- Tahraoui, H., Belhadj, A.-E., Moula, N., Bouranene, S., & Amrane, A. (2021). Optimisation and Prediction of the Coagulant Dose for the Elimination of Organic Micropollutants Based on Turbidity. *Kemija u industriji*, 70(11-12), 675-691.
- Tahraoui, H., Belhadj, A.-E., Amrane, A., & Houssein, E. H. (2022). Predicting the concentration of sulfate using machine learning methods. *Earth Science Informatics*, 1-22.
- Teow, C. C., Truong, V.-D., McFeeters, R. F., Thompson, R. L., Pecota, K. V., & Yencho, G. C. (2007). Antioxidant activities, phenolic and β -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. *Food chemistry*, 103(3), 829-838.
- Toğrul, İ. T., & Pehlivan, D. (2002). Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers. *Journal of Food Engineering*, 55(3), 209-216. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00065-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00065-1)
- Tunckal, C., & Doymaz, İ. (2020). Performance analysis and mathematical modelling of banana slices in a heat pump drying system. *Renewable Energy*, 150, 918-923. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.040>
- Uday, K. V., Jayanthi, P. N., & Singh, D. N. (2014). A generalized relationship for determination of tensile strength of fine-grained soils from shrinkage characteristics. *Drying Technology*, 32(7), 869-876.
- Urdapilleta, I., Tonnu, C. et Saint D.C. (2001). *Traité d'évaluation sensorielle, aspects cognitifset métrologiques des perceptions.* (Ed). Dunad, Paris, 145p.
- Vallespir, F., Rodríguez, Ó., Cárcel, J. A., Rosselló, C., & Simal, S. (2019). Ultrasound assisted low-temperature drying of kiwifruit: Effects on drying kinetics, bioactive compounds and antioxidant activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(6), 2901-2909. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9503>

- Vapnik, V. N. (1999). An overview of statistical learning theory. *IEEE transactions on neural networks*, 10(5), 988-999.
- Vasseur, J. (2011). Séchage industriel : principes et calcul d'appareils - Séchage convectif par air chaud. Techniques de l'Ingénieur. Opérations unitaires : évaporation et séchage. 2451p.
- Vega-Gálvez, A., Quispe-Fuentes, I., Uribe, E., Martinez-Monzo, J., Pasten, A., & Lemus-Mondaca, R. (2019). Bioactive compounds and physicochemical characterization of dried apricot (*Prunus armeniaca* L.) as affected by different drying temperatures. *CyTA-Journal of Food*, 17(1), 297-306.
- Vincent, L. (2006). Séchage du bois. Profil technologique. Université Laval. Canada, 120p.
- Wall, M. M., & Gentry, T. S. (2007). Carbohydrate composition and color development during drying and roasting of macadamia nuts (*Macadamia integrifolia*). *LWT - Food Science and Technology*, 40(4), 587-593. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.03.015>
- Wang, J., Xiao, H.-W., Ye, J.-H., Wang, J., & Raghavan, V. (2019). Ultrasound Pretreatment to Enhance Drying Kinetics of Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) Slices : Pros and Cons. *Food and Bioprocess Technology*, 12(5), 865-876. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02256-4>
- Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J., & Hu, X. (2007). Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Food Research International*, 40(1), 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.07.017>
- Watts, B.M., Ylimaki, G.L., Jeffery, L.E et Elias, L.J. (1991). Méthode de base pour l'évaluation sensorielle des aliments. Edition microfiche sur demande. 141p.
- Xanthopoulos, G., Athanasiou, A., Sempou, A., Lentzou, D., Templalexis, Ch., & Boudouvis, A. G. (2019). Study of the Drying Rate and Colour Kinetics during Stepwise Air-Drying of Apricot Halves. *International Journal of Food Engineering*, 15(5-6). <https://doi.org/10.1515/ijfe-2018-0372>
- Yiğit, D., Yiğit, N., & Mavi, A. (2009). Antioxidant and antimicrobial activities of bitter and sweet apricot (*Prunus armeniaca* L.) kernels. *Brazilian Journal of Medical and biological research*, 42(4), 346-352.
- Yildiz, G., & Izli, G. (2019). The effect of ultrasound pretreatment on quality attributes of freeze-dried quince slices : Physical properties and bioactive compounds.

- Journal of Food Process Engineering*, 42(5).
<https://doi.org/10.1111/jfpe.13223>
- Yolmeh, M., Habibi Najafi, M. B., Farhoosh, R., & Salehi, F. (2014). Modeling of antibacterial activity of annatto dye on *Escherichia coli* in mayonnaise. *Food Bioscience*, 8, 8-13. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2014.09.001>
- Yousefi, A., Asadi, V., Nassiri, S. M., Niakousari, M., & Aghdam, K. (2012). *Comparison of Mathematical and Neural Network Models in the Estimation of Papaya Fruit Moisture Content*. 95(32), 6.
- Yu, P., Low, M. Y., & Zhou, W. (2018). Design of experiments and regression modelling in food flavour and sensory analysis: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 71, 202-215. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.013>
- Zhang, L., Qiao, Y., Wang, C., Liao, L., Shi, D., An, K., Hu, J., Wang, J., & Shi, L. (2020). Influence of high hydrostatic pressure pretreatment on properties of vacuum-freeze dried strawberry slices. *Food chemistry*, 331, 127203.
- Zilouchian, A., & Jafar, M. (2001). Automation and process control of reverse osmosis plants using soft computing methodologies. *Desalination*, 135(1-3), 51-59. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(01\)00138-2](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(01)00138-2)
- Zogzas, N. P., & Maroulis, Z. B. (1996). Effective moisture diffusivity estimation from drying data. A comparison between various methods of analysis. *Drying Technology*, 14(7-8), 1543-1573.

Annexes

Annexe 1

1. Principales variétés d'abricot

1.1. Dans le monde

Tableau 1 : Principales variétés d'abricot dans le monde (**Hormaza et al., 2007**).

Pays	Cultivars
Algérie	Canino et Amor Leuch, Rosé de Manaa
Australie	Hunter, Moonparc, Story, Trevatt, Pannach et Watkins
Canada	Goldoct, Goldrich, Harcot, Harglow, Hargrand, Hargrand, Harlayne, Harogem, Veecot, Velvaglo et Vivagold.
Chine	Bak- Ta-Sin, Caoing, Chu-Ln-Sin, Dahongxing, Gulotilochak, Hongjing zhen, Hvang- Sin, Isko-Dari, Liganmiex-ing, Nan zhoudajiexing, Kzil Kumet , Luotaoxhuang, Manti-Rujuk, Shi-Sin, Shoyinhouz et Tulaki.
France	Bergeron, Canino, Earlyblush, Fantasma, Goldrich, Hatif Colomer, Helena du Roussillon, Rouge de Fournes, Tiryntos et Tomcot.
Grèce	Bebeco, Tiryntos et Luizet.
Hongrie	Bergeron, Ceglédi Biborkajsz, Ceglédi Orias, Gonci Magyar Kajszi, Magyar Kajszi, Magyar Kajszi (Hungarian Best) et Mandula Kajszi.
Italie	Baracca, Bella di Imola, Boccuccia, Cafona, Canino, Ceccona, Fracasso, Goldrich, Monaco Bello, Palummella, Portici, Reale di Imola, Tiryntos et Vitillo,
Iran	Tabarza, Tokbam, Damavand, Malayer et Lasgherdi.
Maroc	Canino et Amor Leuch.
New Zelande	Cutha Gold, Sundrop et Valleygold.
Pakistan	Shakarpara.
Portugal	Bulida et Canino.
Romanie	Callatis, Coandor, Excelsior, Favorit, Litoral, Mamaia, Olimp, Neptun et Satum.
Afrique de sud	Bulida, Empress, Imperial, Lady Sun, Palstyen, Peekka, Roya , Soldonné et Super Gold.
Espagne	Bulida, Canino, Galta Rocha, Mauricio, Moniqui, Palabras, Pepitos et Real Fino.
Syrie	Jami-Hamoy, Balladi Falik-Huby, Balladi Khashabi, Balladi Maourdi, Canino, Hamani, Hamoy, Klaby, Maly, Shahmy, Sindyany, Tadmory et Wazary.
Turquie	Aprikoz, Cataloglu, Cologlu, Darende, Hacıhaliloglu, Hasanbey, Kabaasi, Sekerare, Soganci, Tokaloglu et Yegen.
Ukraine	Krasnoschekii, Krasnoshchekii Pozdnii, Krasnyi Partizan et Nikitskii.
USA	Blenheim (Roya), Castelbrite, Katy, Modesto, Patterson et Tilton.

Annexe 2

1. Préparation de la gamme d'étalonnage des sucres totaux

* Les réactifs

- Solution mère de glucose : une concentration de 1 mg/ml ;
- Solution de phénol, à 5 % ;
- Acide sulfurique concentré, à 98 %.

* La gamme étalon

- A partir de la solution mère, préparer la gamme d'étalonnage comme il est montré dans le tableau 1.
- Lire la densité optique DO a 490 nm et tracer la courbe $DO = f(C)$.

Tableau 2 : Gamme étalon du glucose à 0,1%.

Volume de la solution de glucose (ml)	0	0,5	1	1,5
Eau distillée (ml)	10	9,5	9	8,5
Concentration (%)	0	0,05	0,1	0,15

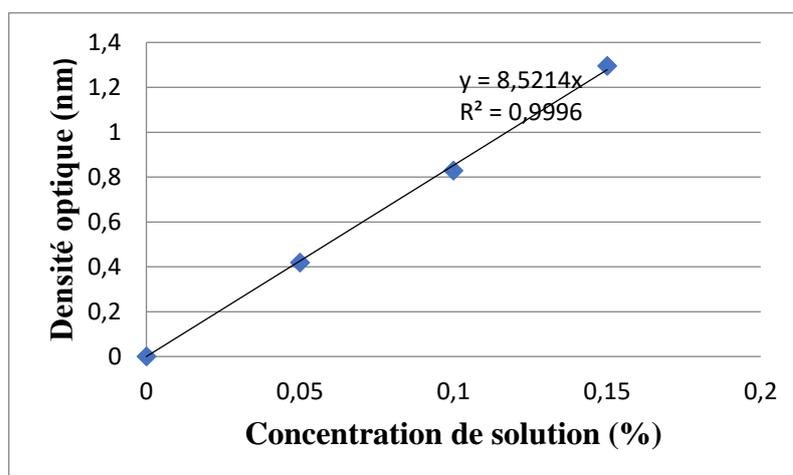


Figure 1 : Courbe d'étalonnage du glucose 0,1 % pour les sucres totaux

2. Préparation de la gamme d'étalonnage des sucres réducteurs par la méthode de DNS

*Les réactifs

- Solution de glucose : une concentration de 10 mg/ml ;
- Réactif de DNS (Acide di-nitro-3,5 salicylique) : 8 g de soude, 1 g d'acide di-nitro-3,5 salicylique et 30 g de tartrate double de sodium et potassium, sont dissouts dans une peau d'eau distillée, puis compléter le mélange a 100 ml.

La gamme étalon

- A partir de la solution mère, préparer la gamme d'étalonnage comme il est montré dans le tableau 2.

- Lire la densité optique DO a 540 nm et tracer la courbe $DO = f(C)$.

Tableau 3 : Gamme étalon de glucose pour les sucres réducteurs.

Solution de glucose (ml)	0	0,5	1	1,5	2
Eau distillée (ml)	10	9,5	9	8,5	8
Concentration (mg/ml)	0	0,5	1	1,5	2
Volume à prélever (ml)	0	1	1	1	1
Réactif de DNS (ml)	1	1	1	1	1
Densité optique (nm)	0	0,23	0,41	0,59	0,77

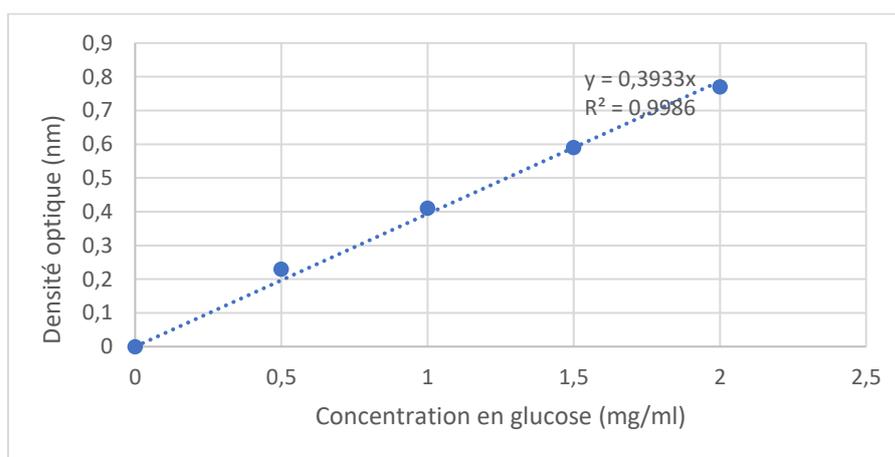


Figure 2 : Courbe d'étalonnage du glucose pour le dosage des sucres réducteurs.

Annexe : 3

1. Préparation de la gamme d'étalonnage des polyphénols totaux

• Les réactifs

- Solution mère d'acide gallique avec une concentration de 1 mg/ml ;
- Réactif de Folin-Ciocalteus ;
- Solution de carbonate de sodium a 7,5 %.

• La gamme étalon

- A partir de la solution mère, préparer la gamme d'étalonnage comme le montre le tableau 3.
- Lire la densité optique DO a 765 nm et tracer la courbe $DO = f(C)$.

Tableau 4 : Gamme étalon d'acide gallique

Solution d'acide gallique (1mg/ml)	0	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15
Méthanol (ml)	0,5	0,475	0,45	0,425	0,4	0,375	0,35
Concentration (mg/ml)	0	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15

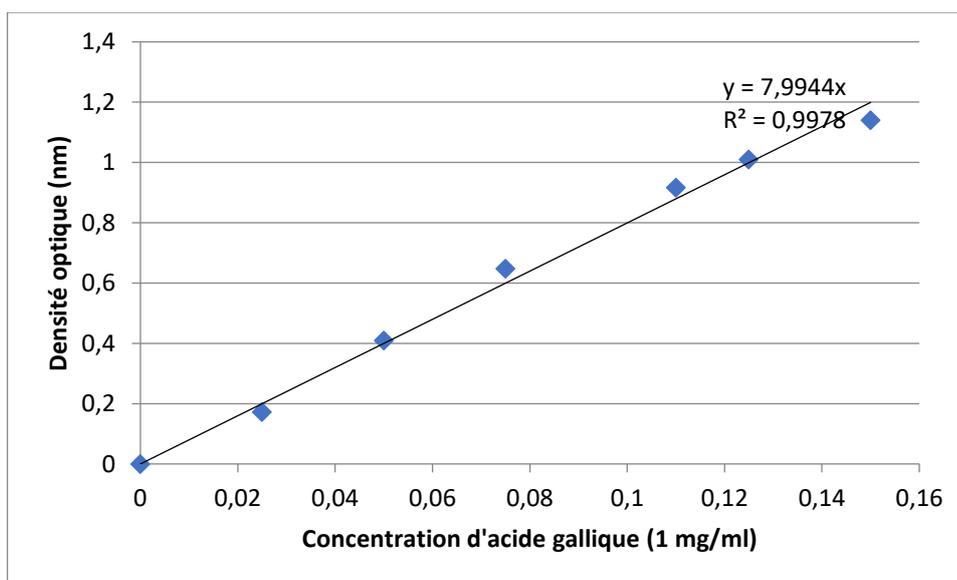


Figure 3 : Courbe d'étalonnage des polyphénols totaux

2. Préparation de la gamme d'étalonnage des flavonoïdes

* Réactifs

- Solution de quercitine (25 ug/ml) ;
- Méthanol pur ;
- Solution de chlorure de fer ($FeCl_3$), a 2%.

* La gamme étalon

- A partir de la solution mère, préparer la gamme d'étalonnage comme il est mentionné dans le tableau 4.

- Lire la densité optique DO a 430 nm et tracer la courbe DO = f (C).

Tableau 5 : Gamme étalon de quercétine

Solution de quercétine (25 μ g/ml)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Méthanol (ml)	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
Concentration (μ g/ml)	0	5	10	15	20	25

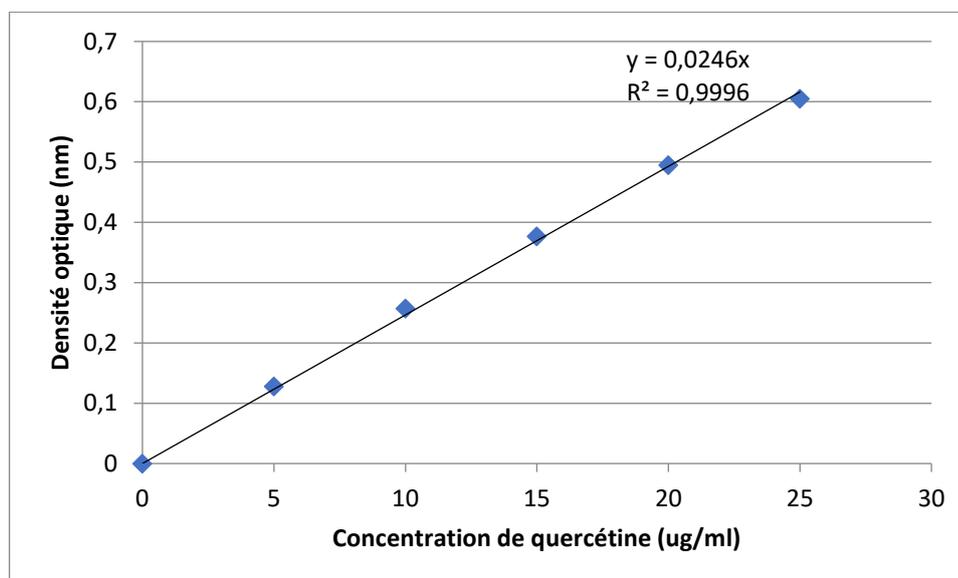


Figure 4 : Courbe d'étalonnage des Flavonoïdes.

Annexe 4

Fiche de dégustation des produits séchés élaborés à base d'abricot (*Prunus armeniaca*

L.)

Dégustateur n°:

Age :

Sexe :

Test de classement analytique sur neufs produits élaborés

Après avoir goûté les neufs échantillons d'abricots séchés présentés en commençant par celui de gauche.

Veillez classer les échantillons suivant l'intensité croissante de la valeur "Agréable "

Veillez indiquer votre classement 1 jusqu'à 9 ?

Les codes : 111, 112, 113, 200, 203, 205, 300, 307 et 314.



Pas agréable Très agréable

Test hédonique

Échantillon n :

1-Aspect

Couleur

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Très désagréable

Très agréable

Forme

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Appréciable

2- Gout

Acide

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Frais

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Sucré

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Caramélisée

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Salé

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

3-Arrière-gout

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Pas bon

Très bon

4- Texture en bouche

Collante

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Annexe 5

Tableau 5 : Test de FRIEDMEN.

Tabl : Différences de somme de classement par rang absolu critiques pour les compositions de « tous traitement » à un seuil de signification de 5%.

Dégustateurs	Nombre d'échantillons										
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
3	6	8	11	13	15	18	20	23	25	28	
4	7	10	13	15	18	21	24	27	30	33	
5	8	11	14	17	21	24	27	30	34	37	
6	9	12	15	19	22	26	30	34	37	42	
7	10	13	17	20	24	28	32	36	40	44	
8	10	14	18	22	26	30	34	39	43	47	
9	10	15	19	23	27	32	36	41	46	50	
10	11	15	20	24	29	34	38	43	48	53	
11	11	16	21	26	30	35	40	45	51	56	
12	12	17	22	27	32	37	42	48	53	58	
13	12	18	23	28	33	39	44	50	55	61	
14	13	18	24	29	34	40	46	52	57	63	
15	13	19	24	30	36	42	47	53	59	66	
16	14	19	25	31	37	42	49	55	61	67	
17	14	20	26	32	38	44	50	56	63	69	
18	15	20	26	32	39	45	51	58	65	71	
19	15	21	27	33	40	46	53	60	66	73	
20	15	21	28	34	41	47	54	61	68	75	
21	16	22	28	35	42	49	56	63	70	77	
22	16	22	29	36	43	50	57	64	71	79	
23	16	23	30	37	44	51	58	65	73	80	
24	17	23	30	37	45	52	59	67	74	82	
25	17	24	31	38	46	53	61	68	76	84	
26	17	24	32	39	46	54	62	70	77	85	
27	18	25	32	40	47	55	63	71	79	87	
28	18	25	33	40	48	56	64	72	80	89	
29	18	26	33	41	49	57	65	73	82	90	
30	19	26	34	42	50	58	66	75	83	92	
31	19	27	34	42	51	59	67	76	85	93	
32	19	27	35	43	51	60	68	77	86	95	
33	20	27	36	44	52	61	70	78	87	96	
34	20	28	36	44	53	62	71	79	89	98	
35	20	28	37	45	54	63	72	81	90	99	
36	20	29	37	46	55	63	73	82	91	100	
37	21	29	38	46	55	64	74	83	92	102	
38	21	29	38	47	56	65	75	84	94	103	
39	21	30	39	48	57	66	76	85	95	105	
40	21	30	39	48	57	67	76	86	96	106	
41	22	31	40	49	58	68	77	87	97	107	
42	22	31	40	49	59	69	78	88	98	109	
43	22	31	41	50	60	69	79	89	99	110	
44	22	32	41	51	60	70	80	90	101	111	
45	23	32	41	51	61	71	81	91	102	112	
46	23	32	42	52	62	72	82	92	103	114	
47	23	33	42	52	62	72	83	93	104	115	
48	23	33	43	53	63	73	84	94	105	116	
49	24	33	43	53	64	74	85	95	106	117	
50	24	34	44	54	64	75	85	96	107	118	
55	25	35	46	56	67	78	90	101	112	124	
60	26	37	48	59	70	82	94	105	117	130	
65	27	38	50	61	73	85	97	110	122	135	
70	28	40	52	64	76	88	101	114	127	140	
75	29	41	53	66	79	91	105	118	131	145	
80	30	42	55	68	81	94	108	122	136	150	
85	31	44	57	70	84	97	111	125	140	154	
90	32	45	58	72	86	100	114	129	144	159	
95	33	46	60	74	88	103	118	133	148	163	
100	34	47	61	76	91	105	121	136	151	167	

On se sert des valeurs exactes adaptées de Hollander et Wolfe (1973) jusqu'à 15 dégustateurs.

On peut se servir d'interpolation pour les valeurs de tableau non spécifiées faisant appel à plus de 50 dégustateurs.

Artificial Intelligence and Mathematical Modelling of the Drying Kinetics of Pre-treated Whole Apricots

A. Bousselma,^{a*} D. Abdessemed,^b H. Tahraoui,^c and A. Amrane^d

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



^aLaboratory (LAPAPEZA), Department of Food Technology, University of Batna 1
Hadj Lakhdar, Biskra Avenue, Batna, 05005, Algeria

^bLaboratory (LAPAPEZA), Institute of Veterinary and Agricultural Sciences, University of Batna 1
Hadj Lakhdar, Biskra Avenue, Batna, 05005, Algeria

^cLaboratory of Biomaterials and Transport Phenomenon (LBMPT), Faculty of Technology,
University Yahia Fares of Médéa, 26 000, Algeria

^dUniv Rennes, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Rennes, CNRS, ISCR-UMR6226,
F-35 000 Rennes, France

Abstract

This study involved monitoring and modelling the drying kinetics of whole apricots pre-treated with solutions of sucrose, NaCl, and sodium bisulphite. The drying was performed in a microwave oven at different power levels (200, 400, and 800 W). Two artificial intelligence models were used for the prediction of drying time (*DT*) and moisture ratio (*MR*): artificial neural network (ANN) and an adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). On the other hand, the *MR* prediction was also done with 21 semi-empirical models, one of which we created.

The results showed that the drying time decreased with the increase in microwave oven power for the three treatments. The treatment with NaCl was the most suitable for our work. The correlation coefficients of drying time (0.9992) and moisture ratio (0.9997) of ANN were high compared to the ANFIS model, which were 0.9941 and 0.9995, respectively.

Among twenty semi-empirical models that were simulated, three models were fitted to our study (*Henderson & Papis modified*, *Henderson & Pabis*, and *Two Terms*). By comparing the three models adapted to our work and the model that we proposed, as well as ANN for *MR* prediction, it was observed that the model that we created was the most appropriate for describing the drying kinetics of NaCl-treated apricot. This solution opens the prospect of using this potential model to simulate fruit and vegetable drying kinetics in the future.

Keywords

Apricot, drying kinetics, microwave, models, ANN, ANFIS

1 Introduction

Apricot is the fruit of the common apricot tree, *Prunus armeniaca* L., of the *Rosaceae* family (subfamily *Pomoides*).¹ In 2019, Algerian apricot production amounted to 256.890 tons.² For most fresh produce, high humidity over a very short time is one of the most critical factors that affect their physical, chemical, and nutritional quality after harvesting. Therefore, for their consumption, they must be appropriately stored. Several industrial technologies are used in the industry to preserve fruits and vegetables. The most important methods include canning, freezing, deep-freezing, and drying. The drying technique is a very old process for preserving agricultural and food products. Several methods based on air drying, vacuum drying, solar drying, and microwave drying have been used to date for drying fruits and vegetables. Microwave drying method belongs to the type of boiler drying and obeys heat transfer by radiation. Before microwave drying, fruits and vegetables are generally subjected to different pre-treatments, such as blanching, osmotic dehydration in sucrose and salty solutions, and immersion in a sodium bisulphite solution. These treatment methods are commonly used to reduce the rate of fruit

browning during drying and storage. They play a critical role in stabilising carotenes, preserving colour, and delaying the product of Maillard reactions. Several researches have focused on the drying of halved apricots and thin layers of apricots treated in solutions (sucrose and sulphide) or untreated. However, to the best of our knowledge, there are no investigations on the effect of dipping the whole apricot in NaCl, sucrose, and sodium bisulphite solutions. Investigations of drying behaviour and kinetics data modelling are reported in the literature for eggplant³, banana⁴, apricot⁵, quince⁶, potato⁷, cranberry⁸, apple⁹, and beetroot slices¹⁰. Today, artificial intelligence is also used to solve problems related to process modelling. Artificial neural networks (ANNs) and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) models are machine learning-based methods, which apply knowledge to predict complex system outcomes such as drying technology. ANFIS is a system capable of analysing complicated drying processes using the educational power of neural networks and linguistic fuzzy systems.¹¹ The importance of prediction of process or property cannot be overemphasized. Since many real life processes or properties investigations can be expensive and time-consuming, modelling and prediction from a small experimental data set is a suitable option to forecast a process or properties.¹² *Amini et al.* used ANFIS to predict the drying time of basil seed mucilage.¹³ Using artificial intelligence, a number of

* Corresponding author: Abla Bousselma, PhD student
Email: abla.bousselma@univ-batna.dz

studies have been reported on the prediction of moisture ratio and drying time for various agricultural products, such as apricot slices,⁵ quince,⁶ onions,¹¹ basil seed mucilage,¹³ green peas,¹⁴ potatoes,¹⁵ and white mulberry.¹⁶ However, there is still very little data reported on drying time prediction of apricot slices by ANFIS and genetic algorithm-artificial neural network (GA-ANN).⁵

Due to the large-volume production of apricot in Algeria, there are significant losses of this fruit as it is perishable. In order to increase its shelf life, decrease the losses of the harvest, encourage local produce and limit the import of this fruit, apricots are dried in the microwave oven, because of its shorter drying time (seconds), low energy cost, and less loss of nutritional elements. The ANN and ANFIS system are used to predict moisture ratio (*MR*) and drying kinetics, in order to reduce drying time (*DT*) and minimize chemical losses in the laboratory.

The objective of this study was: (1) to monitor the drying kinetics of whole apricots pre-treated by solutions: sucrose, NaCl, and sodium bisulphite in microwave oven at different powers (200, 400, and 800 W), (2) to predict the *DT* and *MR* of drying kinetics of apricot by ANN and ANFIS, (3) to simulate experimental data by 20 mathematical models, (4) to propose a new mathematical model for drying kinetics of treated whole apricot, (5) to compare the results of time prediction by ANN and ANFIS model, and (6) to compare the results of *MR* prediction by the three best models simulated in literature, the model which was created by us, the ANN model, and ANFIS.

2 Experimental

2.1 Sample preparation

The apricot variety used for the experimental study was Mnaa from the Bouzina region, Wilaya of Batna, Algeria. Sampling was done on two to three homogeneous plots. Fruits were randomly selected from several clusters at different heights and orientations, harvested at full maturity (July), and stored in a cold room at 4 °C. Upon arrival at the laboratory, the fruit was sorted according to maturity in order to ensure uniform quality characteristics. The average initial sample weight was 16.420 ± 1.649 g, average width was 33.964 ± 1.915 mm, average length was 33.497 ± 2.138 mm, and moisture ratio of the apricots was determined by vacuum drying at 105 ± 1 °C to a constant weight. The average moisture content of apricots on a wet basis was about 85.93 %. These samples must undergo several pre-treatments before being dried in a microwave oven.

2.2 Pre-treatment of apricot

Before drying, the fruit must undergo several pre-treatments:

- Osmotic dehydration: dipping whole apricots in sucrose syrup at 60 °Bx and in 6 % NaCl solution for 18 h at room temperature, then rinsing with hot and cold water to remove the sucrose and salt and inhibit biochemical reactions.
- Sodium bisulphite (NaHSO_3) is a microbial stabilizer that protects against mould and insects, anti-browning enzyme: protection against oxidants is used to stabilize colour and taste; whole apricots are immersed for 30 min in 6 % pure anhydrous sodium bisulphite solution, and then rinsed with water to remove excess sodium bisulphite.
- Drainage of whole fruits.
- Drying and monitoring the drying kinetics of whole apricots treated in microwave oven at different powers (200, 400, and 800 W), was conducted according to the following method: In 10 watch glasses, previously cleaned, dried and cooled in a desiccator, we put 16.420 ± 1.649 g of pitted whole apricots (14.110 g wet weight and 2.31 g dry weight). These were then placed in the microwave oven. For the study of microwave drying kinetics, three different powers, 200, 400, and 800 W, were used. After 30 s, each sample was weighed with a precision balance. This operation was repeated regularly at 30-second intervals. Drying was stopped when the residual moisture content of the produce was about 5 %. This operation was repeated for all powers and each type of apricot processing. The curves representing the drying kinetics obtained experimentally were obtained by following the evolution of the *MR* during the drying process by successive weighing until a residual moisture of 5 % was obtained. Using the moisture content of the wet base at any given time, the initial moisture content of the sample's wet base and equilibrium moisture content, the wet base moisture ratio can be calculated using the following formula Eq. (1):⁴

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

where:

M = moist base moisture content at any time t .

M_0 = initial moisture content of the wet base of the sample.

M_e = equilibrium moisture content.

The values of M_e are relatively low compared to those of M or M_0 . The error involved in the simplification is negligible,⁴ thus moisture ratio (*MR*) was calculated as:

$$MR = \frac{M}{M_0} \quad (2)$$

During the drying process, we monitored the evolution of the mass loss of the whole apricot, to describe the drying kinetics by plotting the curves of the variation of moisture ratio as a function of time $MR = f(t)$.

- Apricot washing and removal of the stone without opening the fruit (whole apricot).

2.3 Time prediction methods by ANN and ANFIS

Two methods (ANN, ANFIS) were used for time prediction. The database was normalised once in the interval $[-1, +1]$, and divided into two sections: 70 % of the dataset for training, and 30 % of the final samples that were not currently involved in the model training, were used for verification to perform model prediction.¹⁷ The determination coefficient (R^2) and root mean square error (RMSE) were used to assess the performance of the models.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp} - MR_{pred})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{exp} - \overline{MR_{exp}})^2} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{N}\right) \left(\sum_{i=1}^N [(y_{exp} - y_{pred})]^2\right)} \quad (4)$$

where MR_{exp} and MR_{pred} are the experimental and predicted dimensionless MR, respectively, and N is the number of observations.^{17,18}

2.3.1 ANN modelling

Artificial neural networks (ANNs) are non-linear empirical models. In general, they are composed of many units (neurons) operating in parallel. The functioning of this network is largely determined by the connections between these elements.¹⁹ The neurons are distributed on three layers: input layer, output layer, and hidden layer. The number of neurons in the input layer is related to the number of input variables, and the number of neurons in the output layer is the same as the number of output variables. Between these two layers, there is at least one hidden layer whose number of neurons depends on the application of the network (Fig. 1).^{17,20} Optimised neuronal regression through the network architecture is based on the distribution of the database into three sets: (learning, testing, and validation), the transfer functions, the number of neurons in the hidden layer, and the training algorithm.²¹

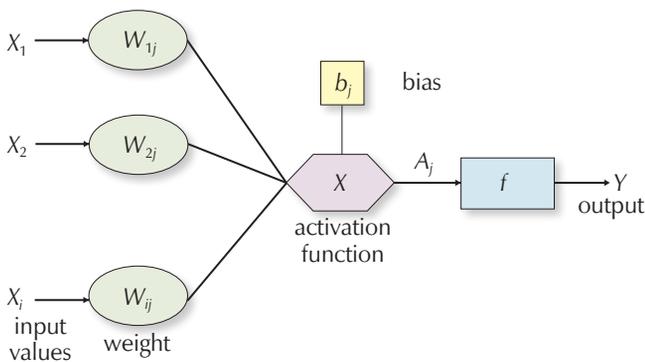


Fig. 1 – Presentation of multilayer neural network

The neuron's output is calculated using relation (Eq. 5):

$$S_j = f\left(\sum_{i=1}^N w_{ij} X_i + b_j\right) \quad (5)$$

where w_{ij} is synaptic weight, b_i is bias input, and X_i is the i^{th} input. f is the activation function which can usually be sigmoid or hyperbolic tangent.²²

The activation functions tansig and logsig can be described as follows:

$$f(a) = \text{tansig}(a) = \frac{2}{1 + e^{-2a}} - 1 \quad (6)$$

$$f(a) = \text{logsig}(a) = \frac{1}{1 + e^{-a}} \quad (7)$$

In this study, ANN was used as a fast and reliable technique to model the drying process. In the ANN, all available data were divided into two parts: one for training and one for model validation. ANN was used to model the moisture ratio of whole apricots, dried in a microwave oven and treated with saccharose, NaCl, and sodium bisulphite. It consisted of several interconnected artificial neurons where each of them gave a single output (Y) induced from all inputs (X_i).²³ The activation functions were in the hidden layer (logsig and tansig). The best final model was selected on the basis of the minimum root mean square error (RMSE) and the maximum coefficient of determination (R^2). Simulation studies were performed using the MATLAB R2013a software.

2.3.2 ANFIS modelling

ANFIS is a technical calculation software that integrates the concept of fuzzy logic in neural networks. The ANFIS model is a kind of neural network that first recognizes drying patterns, and then uses fuzzy inference systems to implement decision-making and differentiation. An adaptive structure of neuro-fuzzy inference system (ANFIS) consists of 5 layers. (1) The fuzzification layer, (2) the rule layer, (3) the normalization layer, (4) the defuzzification layer, and (5) the output layer (Fig. 2).⁶ In its theory, ANFIS has a structure including a return propagation algorithm linked to a multilayer fuzzy cum Sugeno neural network with hidden three-layer input and output layers.

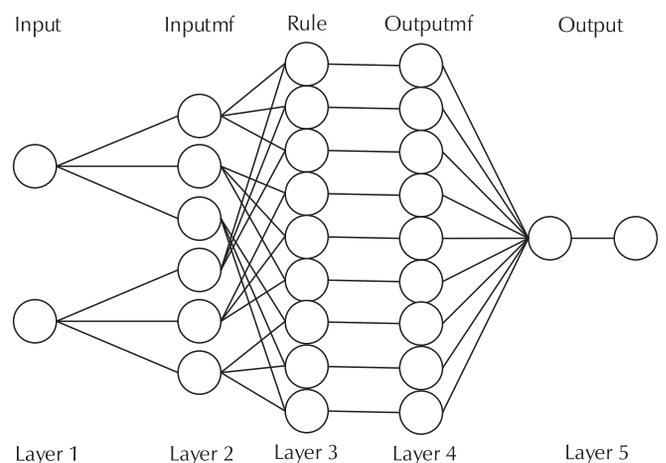


Fig. 2 – Structure of ANFIS

Table 1 – Mathematical models applied to the drying curves

Model name	Model	Reference
Lewis	$MR = \exp(-kt)$	24
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	25
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	26
Wang and Singh	$MR = 1 + a_1t + a_2t^2$	27
Henderson & Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	28
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$	29
Two Term	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-k't)$	14
Midilli	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	30
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-k't)$	31
Modified Henderson & Pabis	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-k't) + c \exp(-k''t)$	31
Two_term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	32
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	26
Simplified Fick's diffusion	$MR = a \exp(-k(t/L^2))$	33
Modified Page III	$MR = a \exp(-k(t/L^2)^n)$	33
Demir et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	27
Weibull	$MR = a \exp(-(t/a)^n)$	34
Hii	$MR = a \exp(-kt^n) + b \exp(-k_1t^n)$	34
Keskes et al.	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-kt^{1/n}) + c$	34
Geometric	$MR = at^{-1}$	35
Logistic	$MR = \frac{a}{(1 + a \exp(kt))}$	35
Proposed model	$MR = \frac{(a + bx)}{(1 + ct + dt^2)}$	This study

a, a_1, a_2, b, c, d , coefficients and n , specific exponent of each drying equation; k, k', k'', k_1 specific coefficients of each drying equation, t is the drying time.

In this study, the ANFIS tool was used to predict the time of drying kinetics of whole apricots treated with sucrose solution, NaCl, and sodium bisulphite in microwave oven at different powers (200, 400, and 800 W). There were five input parameters, including microwave power, total weight of whole apricots, water content, dry matter content, and MR , and the output was the DT .

2.4 Mathematical modelling of drying whole apricots

In this section, we proposed a new semi-empirical model. This model was compared to twenty models in the literature that were studied by the researchers. In order to describe the moisture ratio of whole apricots treated with sucrose, NaCl, and sodium bisulphite, and to determine the most appropriate empirical equation, the parameters of the mathematical model were optimised using a sigma plotting program version 10. Our model and the other 20 models are presented in Table 1.

The correlation coefficient (R^2) is the first criterion used to select the best model that defines the experimental dry-

ing data¹⁷. In addition, a reduction in the chi-square (χ^2) and the mean square error of the square root (RMSE) were used to determine the quality of the fit.³¹ These parameters are calculated by the Eqs. (3) and (4) and the following Eq. (8):

$$\chi^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp}} - MR_{\text{pred}})^2}{N - n} \right] \quad (8)$$

where MR_{exp} and MR_{pred} are the experimental and predicted dimensionless MR , respectively, N is the number of observations, and n is the number of model constants.¹⁸

2.5 Moisture ratio (MR) prediction methods by ANN and ANFIS

In this section, models (ANN, ANFIS) were also used for predicting MR . The coefficient of determination (R^2) and adjusted coefficient were used for the performance of the models Eqs. (4)–(6).

3 Results and discussion

3.1 Drying kinetics

During the drying process, the evolution of the apricot moisture ratio (MR) was monitored as a function of time (t) with: $MR = f(t)$ with a type of microwave drying; knowing that every 30 s of microwave drying corresponds to one cycle.

3.1.1 Influence of power on kinetics of microwave drying

The changes in moisture ratio (MR) as a function of drying time (t) for the three microwave powers (200, 400, and 800 W) are shown in Fig. 3.

The moisture content of fresh apricots was approximately 85.93 %. Whole apricots were dried to a moisture content of 5 %. The drying curves for the pre-treated microwave-dried apricots are shown in Fig. 3. In general, the drying kinetics of microwave-treated apricots were similar to those found by *Toğrul and Pehlivan*.³⁶ One can notice regularly decreasing curves. This decrease corresponds to the elimination of free water. Initially, the water content was high in the apricot and less microwave energy was ab-

sorbed; the apricot was heated by the radiation, and therefore, the evaporation of water was accelerated.³⁷ However, as drying progresses, water must move from the interior of the plant tissue to the surface, which depends on liquid diffusion, capillary movement, and surface diffusion, and slows the rate of the water evaporation.³⁸

Drying kinetics at 800 and 400 W were the shortest times (270 and 420 s, respectively), whereas, drying kinetics at 200 W were the longest (570 s). Therefore, our frame shows a remarkable influence of power on microwave drying kinetics (Fig. 3). These results are similar to those found by *Horuz et al.*,³⁹ who studied the microwave drying kinetics of apricots at three powers 120, 150, and 180 W. These authors revealed that the drying time increased from 157 to 409 min.

Apricots dried in microwave oven at 400 and 800 W power, treated with sucrose solution and NaCl had the shortest duration compared to the sodium bisulphite treatment, because a considerable amount of water from the tissue immersed in concentrated aqueous solutions had already been removed by osmotic dehydration (osmosis phenomenon). The osmotic pressure difference caused a mass transfer between the fruit tissue and the osmotic agent.

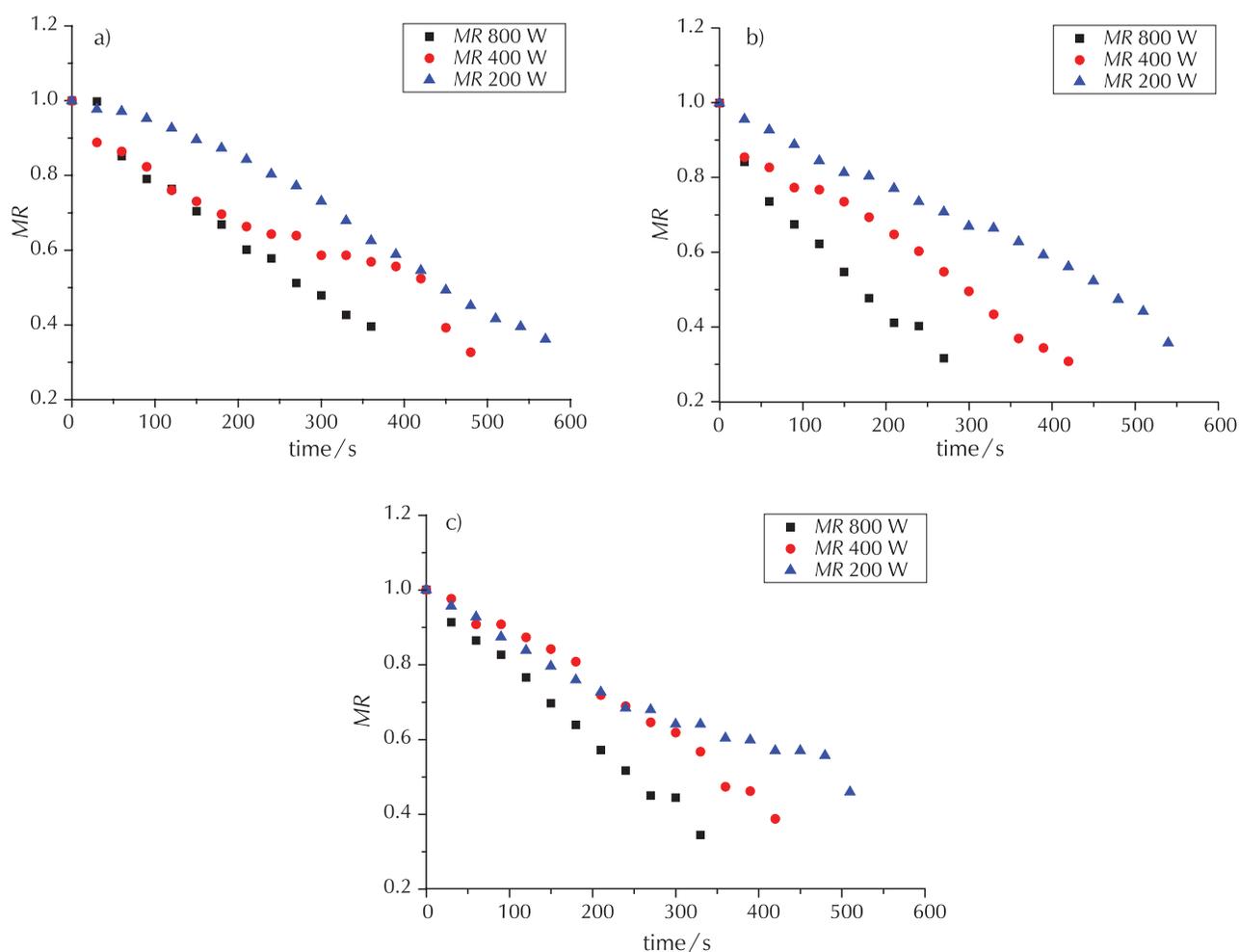


Fig. 3 – Evolution of MR over time for apricots treated in a solution of: (a) sucrose, (b) NaCl, and (c) sodium bisulphite in a microwave oven

Two opposite flows appeared: diffusion of water from fruit cellular tissue (water loss, *WL*), and diffusion of osmotic agent into cells (solid gain, *SG*). The intensity of mass transfer depends on the type of osmotic agent, temperature, and concentration of the osmotic solution, the power of the microwave, speed of agitation, ratio between the fruit and the osmotic agent, and the mass ratio between the fruit and the osmotic agent, which justifies the long drying time of whole apricots treated with sodium bisulphite compared to apricots treated with sucrose and NaCl.⁴⁰

At 200 W power, the shortest drying time was recorded for NaCl-treated apricots (510 s), followed by the other treatments. The longest time was recorded for drying apricots treated with sodium bisulphite (510 to 570 s). This difference was due to the treatment agent used. The use of pre-treatment improved the moisture migration of whole apricots and reduced the drying time. This is confirmed by blanching and dipping in a saline solution that promotes moisture migration from the inner regions of the food crop.⁴¹ The increase in microwave power decreased drying time. The probability analysis of each factor indicated that treatments investigated, and sodium and microwave power had a significant effect on apricot water loss.

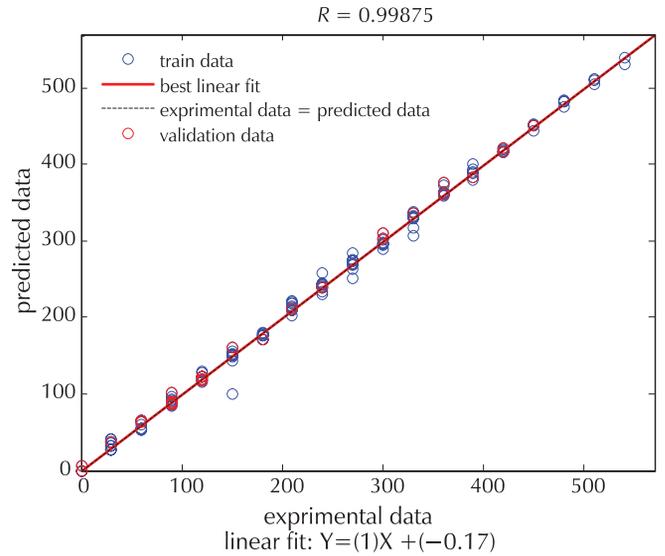


Fig. 4 – Predicted values relative to experimental time tansig values of the ANN validation phase and training phase model

3.2 Time prediction methods by ANN and ANFIS

3.2.1 ANN modelling

In this study, ANN was used to predict the drying time. In order to obtain a better result, the feedback propagation network with Levenberg–Marquard (LM) learning algorithm was chosen, after which this network was optimised with three activation functions (tansig, logsig, and purelin), and with many neurons of the hidden layer (3 : 15). Five input parameters, including microwave power (W), total apricot weight (g), moisture content (%), dry matter content (%), and moisture ratio (*MR*), while the output parameter was the drying time (s).

The results of modelling ANN for *MR* time prediction are presented in Table 2.

Table 2 reveals that the results are almost equal from the point of view of correlation coefficient and RMSE in the three phases (training, validation, and all data). Therefore, the 1st architecture was chosen since a small increase in the correlation coefficient and a small decrease in RMSE was found compared to the 2nd architecture. The results of Table 2 are graphically presented in Figs. 4 and 5. Fig. 6 again shows the efficiency of our model which was chosen in this part.

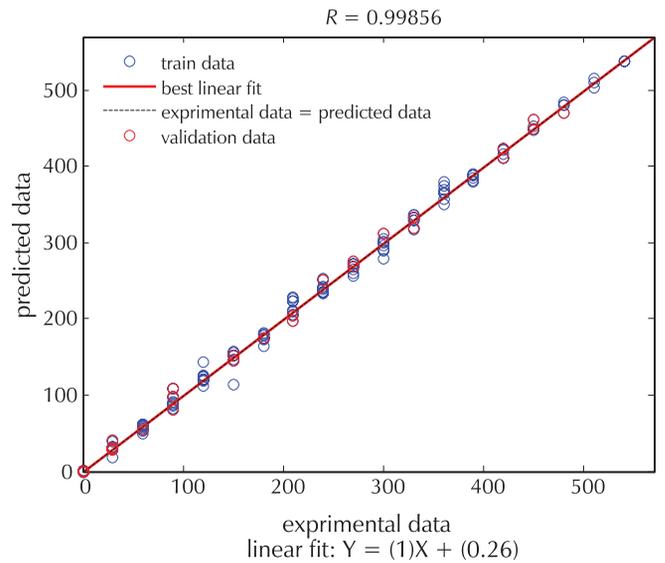


Fig. 5 – Predicted values relative to experimental time logsig values of the ANN validation phase and training phase model

Table 2 – Performances of the different ANN architectures of time

Learning algorithm	Network architecture	Activation function		Coefficients of determination			RMSE · 10 ⁻⁶		
		Hidden layer	Output layer	Training	Validation	All	Training	Validation	All
Levenberg–Marquard	[5-15-1]	tansig	purelin	0.99864	0.99919	0.99875	7.8056	6.0607	7.4892
	[5-15-1]	logsig	purelin	0.99844	0.99891	0.99856	8.0176	7.8217	7.9788

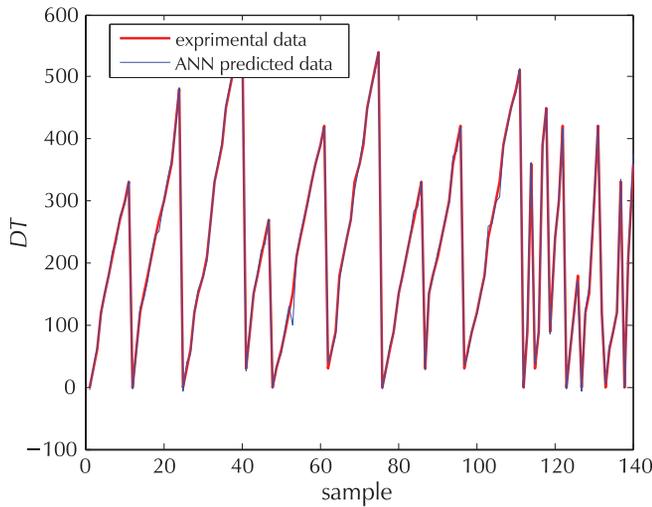


Fig. 6 – Relationship between experimental data and predicted data of samples

3.2.2 ANFIS modelling

In this work, the drying time (*DT*) prediction technique of microwave-treated whole apricots by ANFIS was used. There were five input parameters, including microwave power, total apricot weight, moisture content, dry matter content, and moisture ratio (*MR*). Table 3 reveals the best algorithms for ANFIS. The correlation coefficient (R^2) is very high; on the other hand, the statistical indicator is very low (RMSE), which indicates a good fit or performance, and suggests that ANFIS can be used effectively to predict the drying time. The result is better ($R^2 = 0.9921$) than that obtained by *Satorabi et al.*, who found a correlation coefficient of $R^2 = 0.973$. Knowing that the only difference was in the volume of the dried apricot fruit, we used the whole fruit. On the other hand, *Satorabi et al.* used apricot slices.⁵

Table 3 shows that the results are almost equal in terms of the correlation coefficient and the RMSE in all three phases (training, validation, and all data). Therefore, the training phase was chosen as a slight increase in the correlation coefficient (0.99414), and a small decrease in RMSE (16.2664) was found compared to the phases of all data and validation (R^2 : 0.99211, RMSE: 18.7286), and (R^2 : 0.98304, RMSE: 26.6716), respectively. The results in Table 3 are graphically shown in Fig. 7. Fig. 8 shows the *DT* values as a function of the ANFIS estimate for unseen data points (test data). It can be seen that the system was well trained to model these parameters. The calculated *R* value for the *DT* estimate was 0.9921, showing a high correlation between the predicted and experimental values. In gener-

al, this model simply explains the highly nonlinear process, including microwave drying, without the need to establish the complicated mechanisms involved.

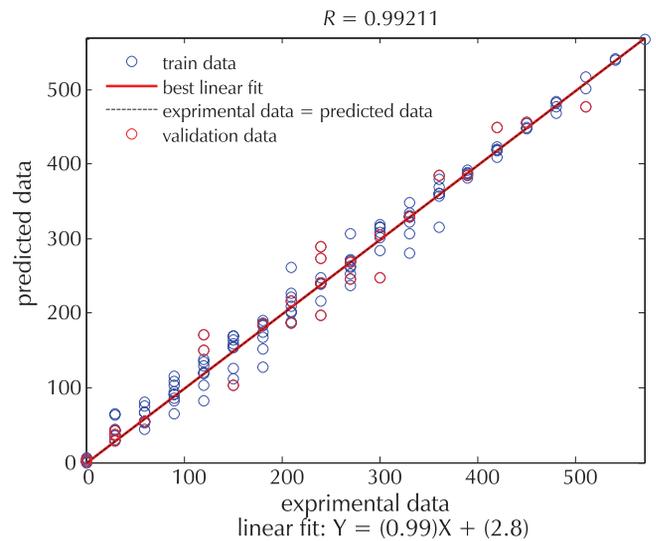


Fig. 7 – Predicted values relative to experimental time values of the ANFIS validation phase and training phase model samples

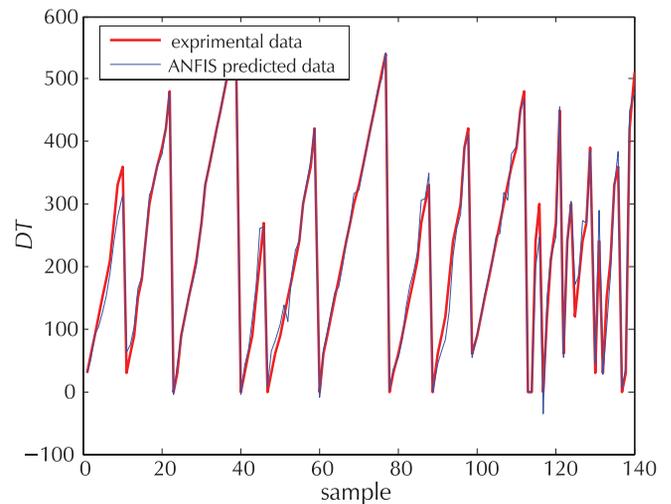


Fig. 8 – Relationship between experimental data and predicted data of samples

Table 3 – Performance of the different ANFIS architectures of time

ANFIS	Membership function type		Train FIS	Coefficients of correlation			RMSE · 10 ⁻⁶		
	Input	Output		Optimisation method	Training	Validation	All	Training	Validation
[2 2 2 2 2]	gbellmf	linear	hybrid	0.99414	0.98304	0.99211	16.2664	26.6716	18.7286

3.2.3 Comparison between the drying times of ANN and ANFIS

Comparison between the ANN model and the ANFIS model was based on the statistical parameters (R^2 and RMSE). Table 4 shows the comparison between the drying times (DT) of ANN and ANFIS. According to Table 4, the ANN model contains a higher correlation coefficient (0.99919) and a low RMSE value (6.0607) by contribution ANFIS ($R^2 = 0.99414$, RMSE = 16.2664). The ANN model is the most appropriate for the prediction of drying time of whole apricot.

Table 4 – Comparison between the drying times (DT) of ANN and ANFIS

Model	RMSE · 10 ⁻⁶	R ²
ANN(DT)	6.0607	0.99919
ANFIS(DT)	16.2664	0.99414

3.3 Modelling of the drying kinetics of apricots

In this work, the drying kinetics were modelled by three mathematical models (*Modified Henderson–Pabis*, *Henderson–Pabis*, and *Two Term*), and proposed model. Fig. 9 illustrates the obtained results. The calculated values of the used statistical parameters are shown in Tables 5–7 with the most suitable model marked in bold.

The three models and the proposed model were compared in terms of the values of the coefficient of determination (R^2), the reduced chi-square (χ^2), and the square root mean square error (RMSE). Under the studied experimental conditions, the values of R^2 , χ^2 , and RMSE range from 0.9407 to 0.9989, $3.05 \cdot 10^{-7}$ to $1.82 \cdot 10^{-3}$, and $2.23 \cdot 10^{-7}$ to $1.21 \cdot 10^{-3}$, respectively. The high values of R^2 and the low values of χ^2 and RMSE for the three simulated models, and the model proposed in this study indicate a good consistency between these models and the experimental results. The proposed model was chosen to adequately describe the drying behaviour of whole apricots treated with NaCl, sucrose, and sodium bisulphite at microwave powers of 200 and 400 W, respectively, due to a high value of R^2 and low values of χ^2 and RMSE (see Tables 5–7).

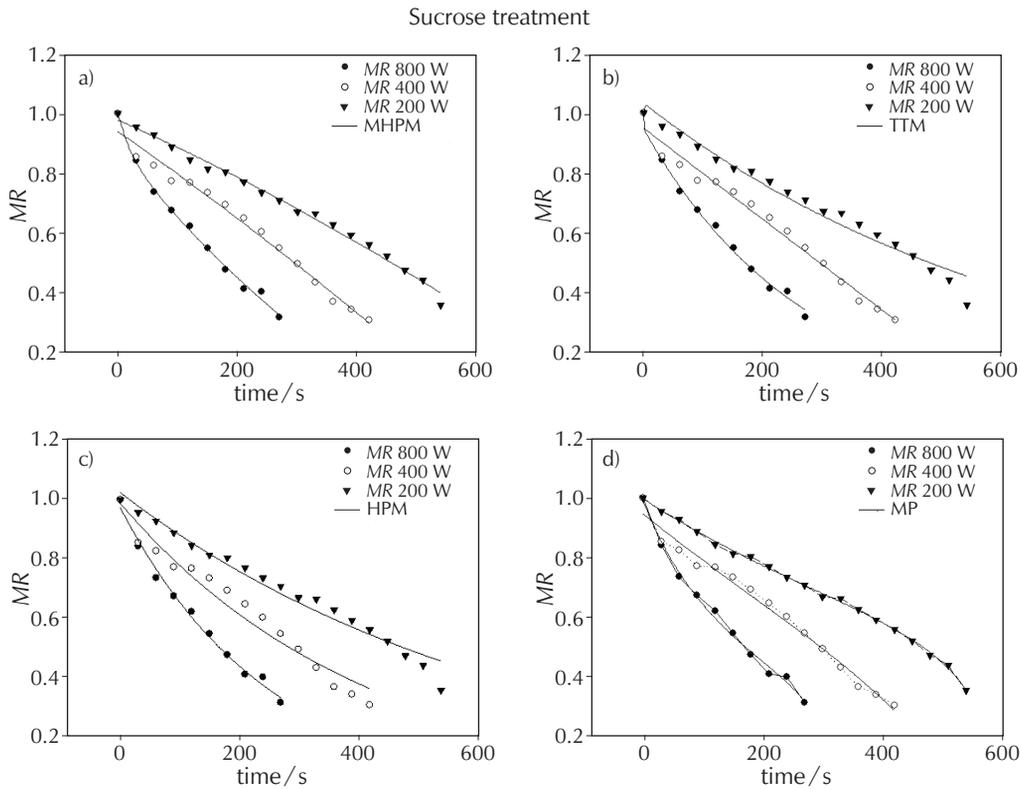


Fig. 9 – Modelling of drying kinetics of whole apricots by microwave oven: (a) *Modified Henderson & Pabis* model, (b) *Henderson–Pabis* model, (c) *Two Term* model, and (d) proposed model

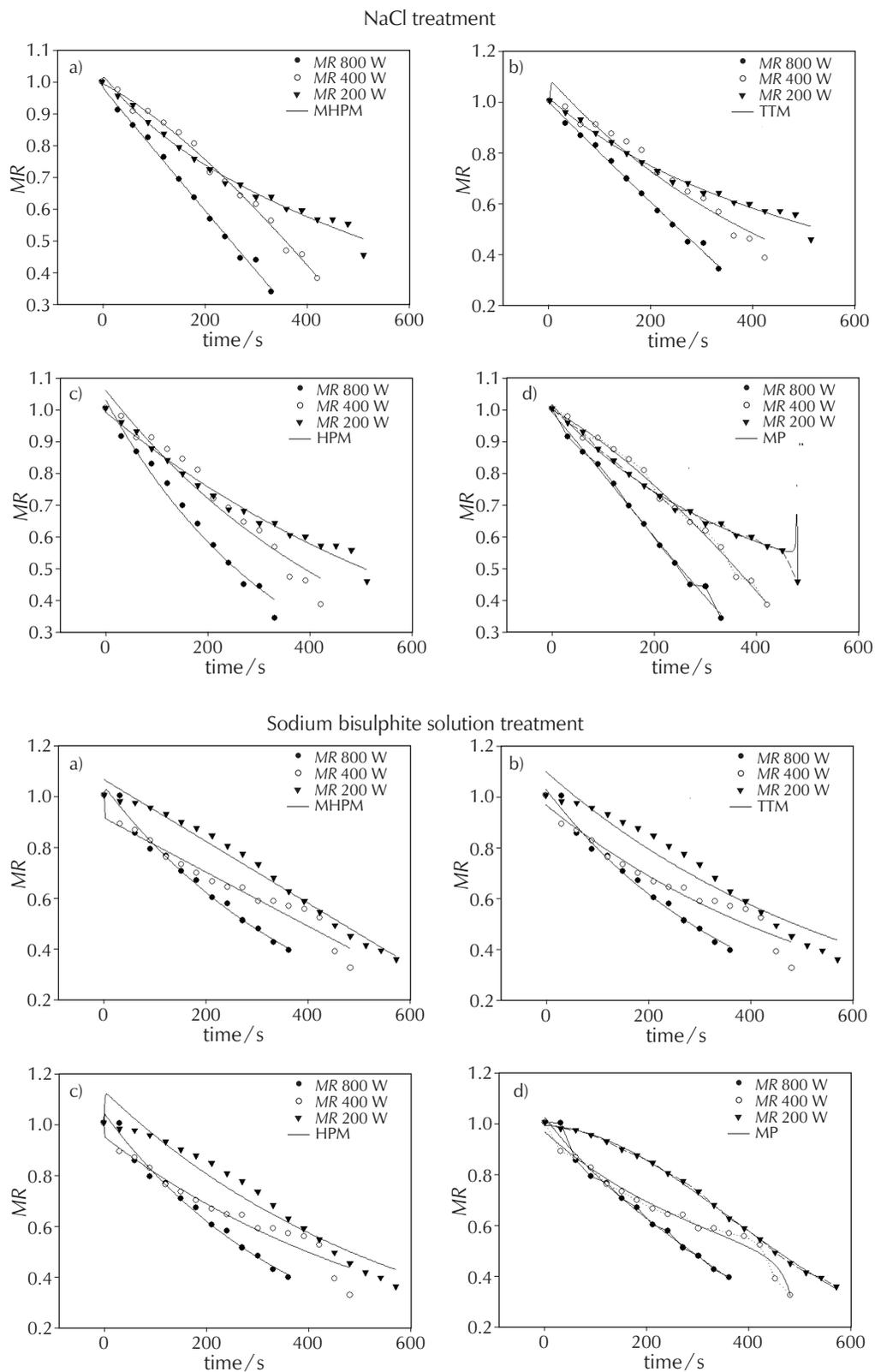


Fig. 9 – (continued)

Table 5 – Modelling of drying kinetics of sucrose-pre-treated apricots in a microwave oven

MN	Power	Parameter							Parameter statistics		
		A	k	B	k'	C	k''	D	R ²	χ ²	RMSE
1	200	64.425	9.13 · 10 ⁻⁵	19.467	0.00025	-43.979	2.50 · 10 ⁻¹⁵		0.992	1.26 · 10 ⁻⁴	8.59 · 10 ⁻⁵
	400	24.533	0.000183	-6.174	0.00050	-17.419	2.90 · 10 ⁻¹³		0.983	1.23 · 10 ⁻⁵	7.38 · 10 ⁻⁶
	800	0.114	0.0477	-0.801	6.03 · 10 ⁻¹⁰	1.686	0.0015		0.996	1.03359 · 10⁻⁵	4.134 · 10⁻⁶
2	200	1.0232	0.0015						0.969	0.0005514	0.00049
	400	0.9874	0.0024						0.9595	0.00020229	0.00017
	800	0.9724	0.004						0.9911	2.04 · 10⁻⁵	1.63 · 10⁻⁵
3	200	0.145	0.8998	1.0317	0.0015				0.9702	0.00067468	0.00053
	400	-0.083	2.31 · 10 ⁻⁵	-65.508	8.71 · 10 ⁻¹⁶				0.9833	3.05 · 10⁻⁷	2.23 · 10⁻⁷
	800	-7.296	2.2859	0.945	0.0038				0.9947	7.54 · 10⁻⁵	4.52 · 10⁻⁵
4	200	0.997		-0.0017		-0.0003		-1.826 · 10 ⁻⁶	0.9985	4.79388 · 10⁻⁵	3.84 · 10⁻⁵
	400	0.946		-0.0018		-0.0001		-1.74 · 10 ⁻⁶	0.9846	3.448 · 10⁻⁶	1.72 · 10⁻⁵
	800	0.990		-0.003		-0.002		-1.24 · 10 ⁻⁶	0.9946	4.6 · 10 ⁻⁴	4.48 · 10 ⁻³

MN: Model name; 1: Modified Henderson-Pabis model; 2: Henderson-Pabis model; 3: Two Term model; 4: Proposed model

Table 6 – Modelling of drying kinetics of NaCl-pre-treated apricots in a microwave oven

MN	Power	Parameter							Parameter statistics		
		A	k	B	k'	C	k''	D	R ²	χ ²	RMSE
1	200	-0.0238	0.6307	0.8982	0.0011	0.1256	0.0085		0.9873	0.00025785	0.0001719
	400	8.436	0.0006	-2.5024	0.0017	-4.9394	1.96 · 10 ⁻¹³		0.993	4.01 · 10⁻⁶	2.41 · 10⁻⁶
	800	-7.263	7.12 · 10 ⁻¹⁷	18.2469	0.0001	0.0162	11.5651		0.9952	0.00037777	0.0001888
2	200	0.9872	0.0014						0.9831	3.86 · 10 ⁻⁵	3.43 · 10 ⁻⁵
	400	1.0561	0.0019						0.9527	0.00060574	0.000524
	800	1.0251	0.0028						0.9808	0.0003971	0.0003309
3	200	0.145	0.0058	0.8628	0.0011				0.9868	0.00012188	9.479 · 10 ⁻⁵
	400	-0.0836	0.7102	1.0836	0.002				0.9614	0.00059726	0.0004379
	800	-7.2965	1.26 · 10 ⁻⁶	8.2874	0.0002				0.9949	0.00182246	0.0012149
4	200	1.0124		-0.002		-0.0001		-3.70 · 10 ⁻⁶	0.996	8.97 · 10⁻⁴	6.98 · 10⁻⁴
	400	0.9964		-0.0016		-0.0007		7.35 · 10 ⁻⁷	0.993	1.99299 · 10⁻⁷	1.46 · 10⁻⁷
	800	0.9887		-0.0018		0.0001		9.02 · 10 ⁻⁷	0.9949	3.1865 · 10⁻⁶	2.12 · 10⁻⁶

MN: Model name; 1: Modified Henderson-Pabis model; 2: Henderson-Pabis model; 3: Two Term model; 4: Proposed model

Table 7 – Modelling of drying kinetics of sodium bisulphite-pre-treated apricots in a microwave oven

MN	Power	Parameter							Parameter statistics		
		A	k	B	k'	C	k''	D	R ²	χ ²	RMSE
1	200	-0.0238	2.33 · 10 ⁻⁵	0.0889	29.6903	-44.7549	1.64 · 10 ⁻¹⁵		0.9596	1.32 · 10 ⁻⁴	9.26 · 10 ⁻⁵
	400	8.4369	3.05 · 10 ⁻¹⁶	-78.503	1.01 · 10 ⁻¹⁶	158.0939	7.67 · 10 ⁻⁶		0.9829	2.11 · 10⁻³	1.37 · 10⁻³
	800	-7.2631	0.8498	1.0924	0.0024	-0.0588	1.72 · 10 ⁻¹¹		0.990	4.87 · 10⁻⁶	2.62 · 10⁻⁶
2	200	1.0925	0.0016						0.9407	0.00037274	0.0003313
	400	0.9623	0.0017						0.9442	0.00064805	0.0005718
	800	1.0237	0.0025						0.988	5.2162 · 10⁻⁵	4.1729 · 10⁻⁵
3	200	-0.1255	0.7402	1.1255	0.0017				0.9899	0.00026758	0.0002140
	400	0.0535	84.5644	0.9465	0.0016				0.9484	0.00026758	0.0007403
	800	-0.0389	15.0223	1.0389	0.0026				0.9899	1.513 · 10⁻⁵	1.048 · 10⁻⁵
4	200	0.9905		-0.0009		-0.0007		2.55 · 10 ⁻⁶	0.9895	4.79388 · 10⁻⁵	3.84 · 10⁻⁵
	400	0.9635		-0.002		-8.92 · 10 ⁻⁵		7.9 · 10 ⁻⁷	0.9811	0.006270471	4.80 · 10⁻³
	800	1.0201		-0.0019		0.0008		-3.03 · 10 ⁻⁶	0.9895	4.70535 · 10⁻⁵	3.26 · 10⁻⁵

MN: Model name; 1: Modified Henderson-Pabis model; 2: Henderson-Pabis model; 3: Two Term model; 4: Proposed model

3.4 Predictive time testing

After testing the MR values for experimental time and predicted time of the proposed model with three treatments, it was concluded that the same values for MR_{exp} , MR_{pre} , and MR_{preT} were obtained, confirming the effectiveness of the time model (see Fig. 10).

3.5 MR prediction methods by ANN and ANFIS

3.5.1 Artificial neural network modelling

In this study, ANN was used to predict MR. In order to obtain better results, the feedback propagation network with learning algorithms (LM) was chosen, after which this net-

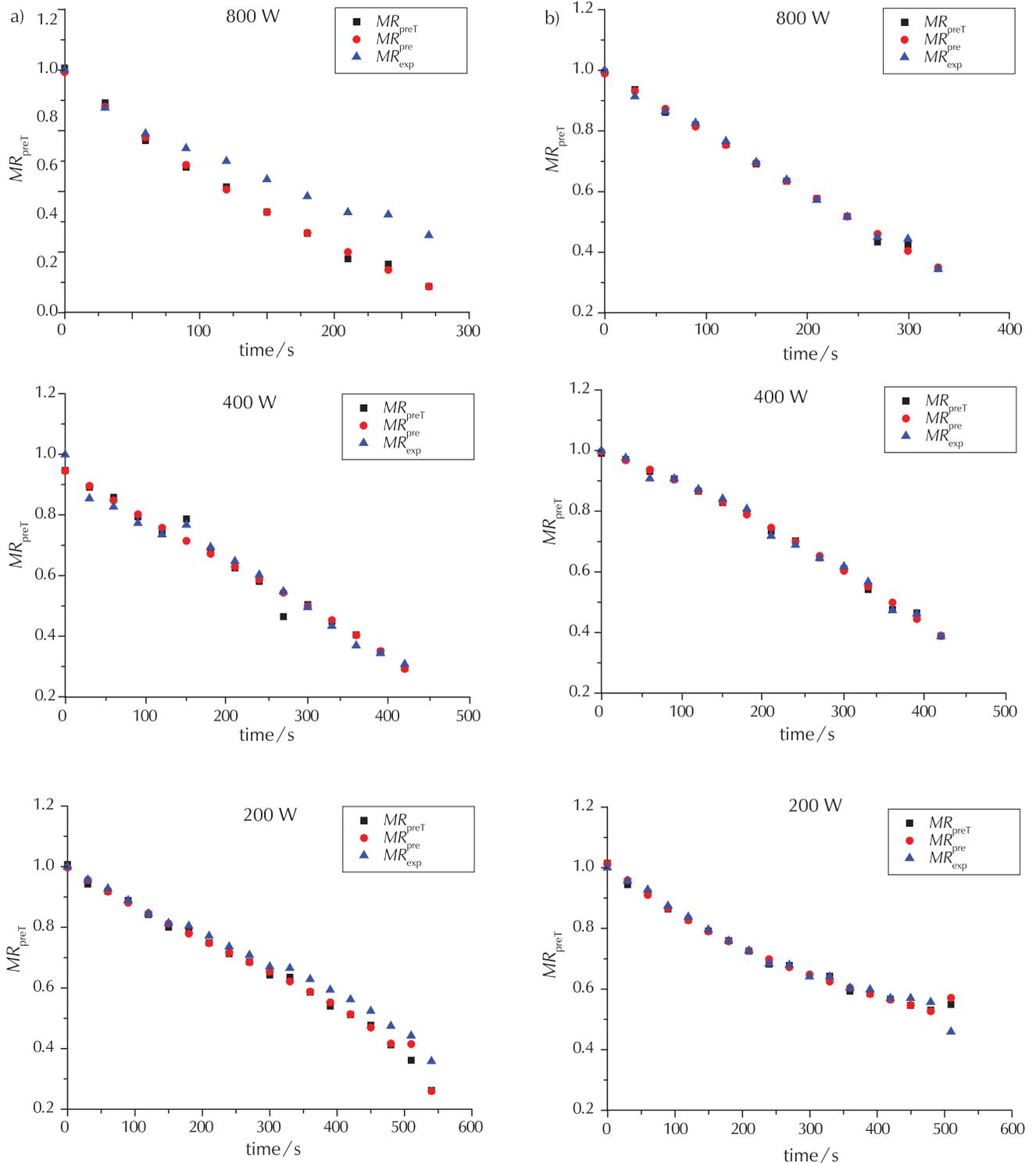


Fig. 10 – Evolution of the moisture ratio (MR) exp, pre, and preT by the proposed model as a function of time at powers (200, 400, and 800 °C) and treatments. Cases: a: sucrose and b: NaCl.

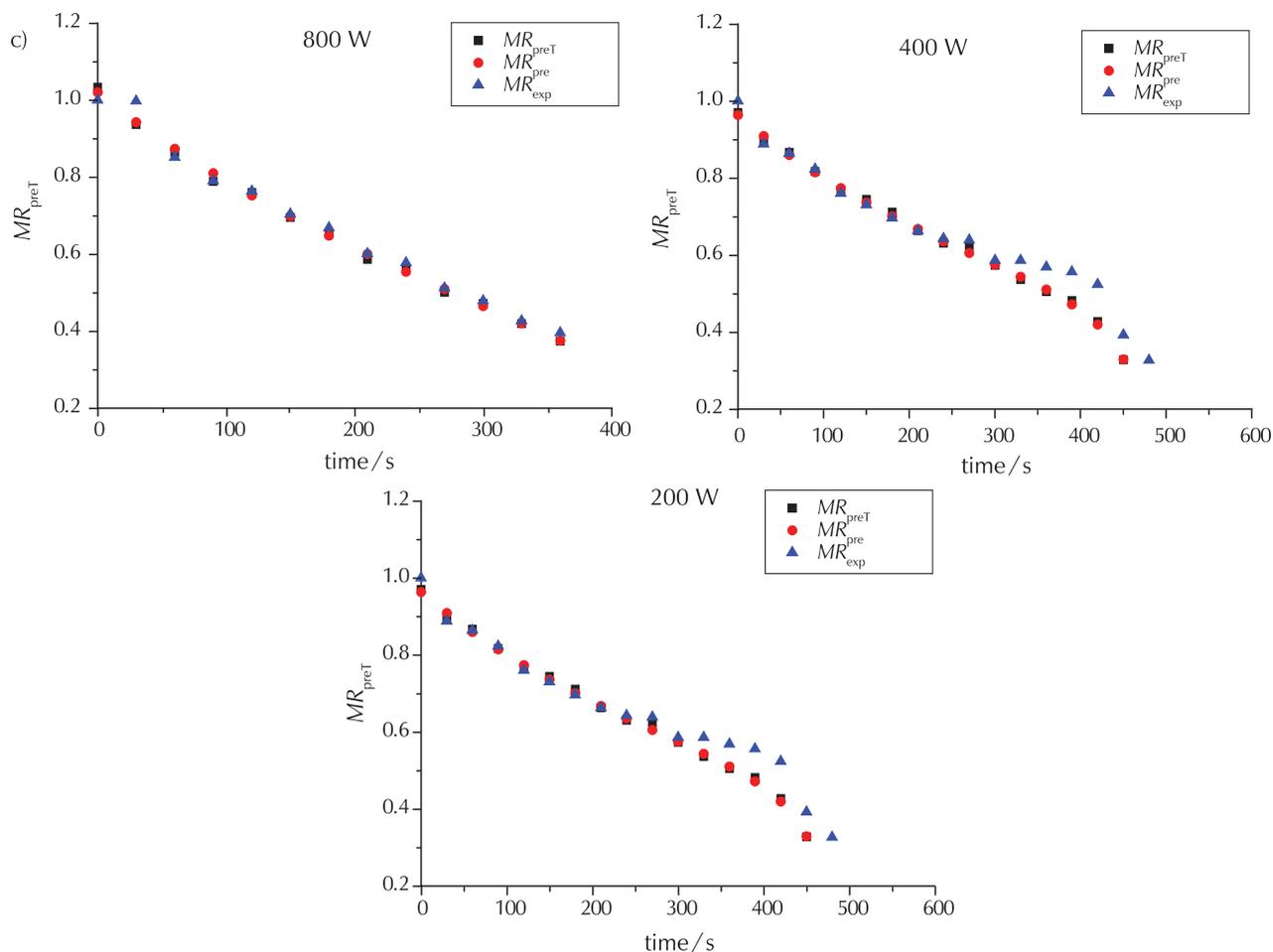


Fig. 10 – (continued) Case: c: sodium bisulphite

work was optimised with three activation functions (tansig, logsig, and purelin) (see Figs. 11 and 12), and with many neurons of the hidden layer (3 : 15). Five input parameters, including microwave power, total apricot weight, moisture content, dry matter content, and drying time, and one output parameter is the moisture ratio. This model was allowed to mix the three treatments (sucrose solution, NaCl, and sodium bisulphite), create a unique model suitable for each treatment, and test each treatment alone. The results of ANN modelling for the time prediction to the mixture of three MR treatments are presented in Table 8.

Table 8 and Fig. 13, reveal that there is not much difference between the obtained results, since the results are almost equal. The architecture [5-12-1] was chosen according to the logsig activation function in the hidden layer and the purelin function in the output layer.

The architecture [5-12-1] was chosen as their parameter numbers were 85 as the architecture [5-15-1], which was 106.

Table 8 – Performances of the different ANN architectures of MR

Learning algorithm	Network architecture	Activation function		Correlation coefficient			RMSE		
		Hidden layer	Output layer	Training	Validation	All	Training	Validation	All
Levenberg-Marquard	[5-15-1]	tansig	purelin	0.9996	0.9997	0.99962	0.0058	0.0052	0.0057
	[5-12-1]	logsig	purelin	0.99958	0.99942	0.99956	0.0059	0.0062	0.0059

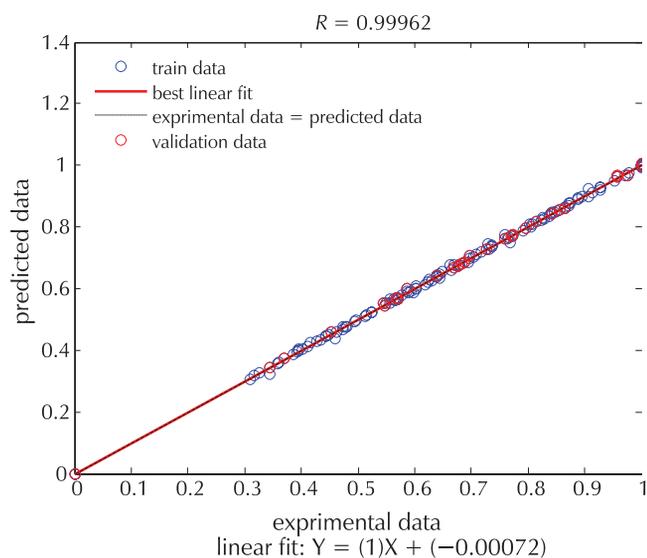


Fig. 11 – Predicted values relative to experimental MR tansig values of the ANN validation phase and training phase model

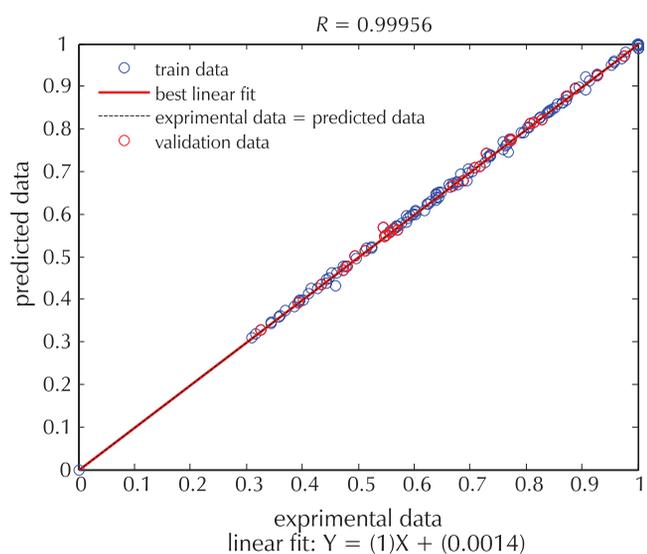


Fig. 12 – Predicted values relative to experimental MR logsig values of the ANN validation phase and training phase model

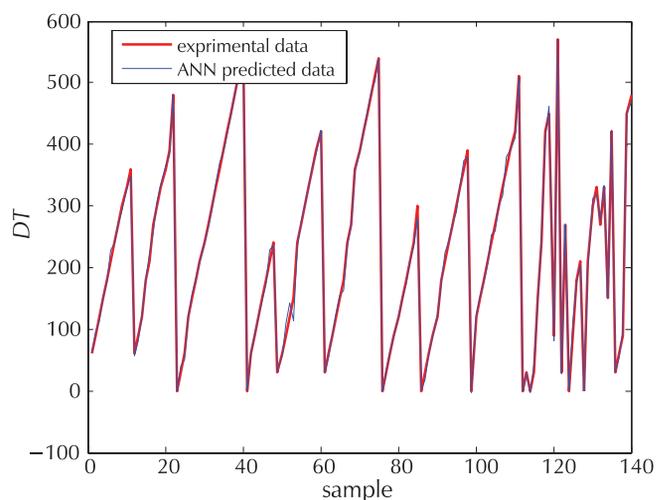


Fig. 13 – Relationship between experimental data and predicted data of samples

Considering the very high estimated R^2 value and the low RMSE value for logsig and tansig MR, it was concluded that ANN can be used effectively to predict MR.

3.5.3 ANFIS modelling

In this work, the weighting algorithms and functions (gbellmf), were chosen for the input and linear for the output as well as many nodes for each input to get the right result. Five input parameters, including microwave power, total apricot weight, moisture content, dry matter content, and drying time, and one output parameter is the moisture ratio. The ANFIS predictive technique was used to predict MR.

Table 9 reveals the best algorithms for the ANFIS array, and the high R^2 and low RMSE values for logsig and tansig RMS indicate good fit or performance, and suggest that ANFIS can be used effectively to predict MR. In addition to data quality, the effectiveness of a typical ANFIS prediction also depends on the number of rows and columns of input data. The results of ANFIS modelling for the time prediction to the mixture of three MR treatments are presented in Table 9. It was found that the architecture of [2 2 2 2 2] Training ANFIS (MR) model gave the lowest RMSE (0.0063) and a high value of R^2 (0.99951) for the All ANFIS (MR) and Val ANFIS (MR), respectively, but these values were closer to the others. The predicted results were plotted against the experimental values as shown in Figs. 14 and 15.

Table 9 – Performances of the different ANFIS architectures of MR

ANFIS	MF Type		Train FIS	Coefficient of correlation			RMSE		
	No. of membership functions	Input		Output	Optimisation method	Training	Validation	All	Training
[2 2 2 2 2]	gbellmf	linear	hybrid	0.99951	0.99867	0.99937	0.0063	0.0096	0.0071

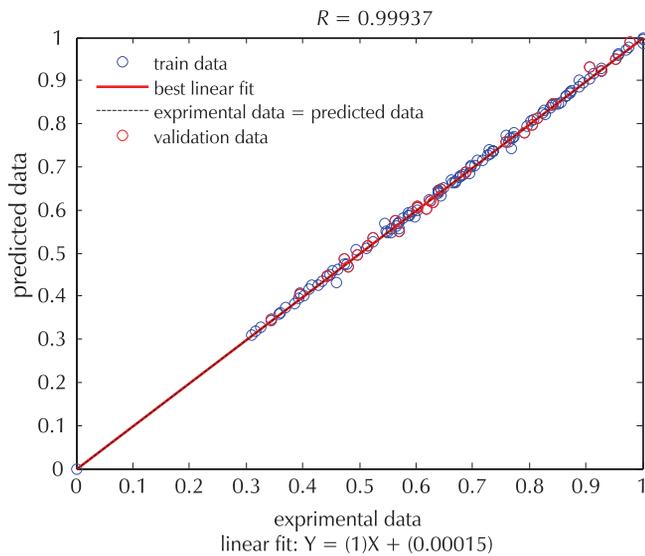


Fig. 14 – Predicted values relative to experimental MR values of ANN validation phase and training phase model

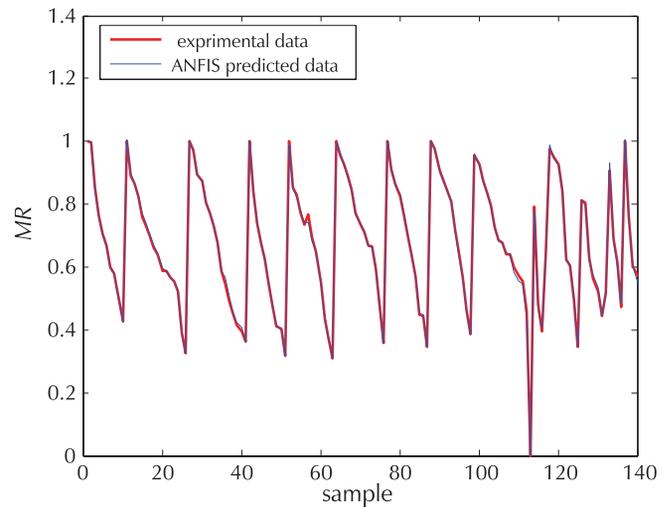


Fig. 15 – Relationship between experimental data and predicted data of samples

3.6 Comparison between the moisture ratio of proposed model, ANN and ANFIS

The comparison between the three models was based on the statistical parameters (R^2 and RMSE) and the number of epochs of each model. Tables 10 and 11 show the three models mixed and associated with the three treatments (sucrose, NaCl and sodium bisulphite) and unmixed, respectively.

According to Table 10, the ANN model contained a higher correlation coefficient (0.9991) and low RMSE (0.0059) value followed by ANFIS ($R^2 = 0.9950$, RMSE = 0.0071), and

Table 10 – Comparison between the proposed models, ANN, and ANFIS had three mixed treatments (sucrose, NaCl, and sodium bisulphite)

Model	RMSE	MAE	R	R^2	R^2_{adj}
PM(MR)	0.0878	0.0215	0.9973	0.9947	0.9909
ANN(MR)	0.0059	0.0039	0.99956	0.9991	0.9991
ANFIS(MR)	0.0071	0.0046	0.99937	0.99500	0.9987

Table 11 – Comparison between the proposed models, ANN and ANFIS had three unmixed treatments at 200, 400, and 800 W

Pre-treatment and microwave power	Proposed model		ANN		ANFIS	
Sucrose 200 W	RMSE	0.29334845	RMSE	$1.1306 \cdot 10^{-5}$	RMSE	$8.57052 \cdot 10^{-8}$
	R^2	0.99817254	R^2	0.99999993	R^2	0.99999998
	400 W	RMSE	$4.1564 \cdot 10^{-7}$	RMSE	0.00864375	RMSE
800 W	R^2	0.99999998	R^2	0.99998547	R^2	0.9999739
NaCl 200 W	RMSE	0.37801268	RMSE	0.00400916	RMSE	$2.29682 \cdot 10^{-7}$
	R^2	0.95952499	R^2	0.99999456	R^2	0.999999975
	400 W	RMSE	$6.3983 \cdot 10^{-5}$	RMSE	0.12055309	RMSE
800 W	R^2	0.99999957	R^2	0.99999098	R^2	0.99995703
Sodium bisulphite 200 W	RMSE	$1.7896 \cdot 10^{-5}$	RMSE	0.00041066	RMSE	0.00020181
	R^2	0.99999933	R^2	0.99998454	R^2	0.9999924
	400 W	RMSE	0.00048178	RMSE	0.00264449	RMSE
800 W	R^2	0.9999515	R^2	0.99999845	R^2	0.99999298
400 W	RMSE	0.00981046	RMSE	0.0041978	RMSE	0.00087767
	R^2	0.99974863	R^2	0.99999783	R^2	0.99997751
	800 W	RMSE	0.10634142	RMSE	0.00116169	RMSE
400 W	R^2	0.99583571	R^2	0.99995451	R^2	0.99994992
800 W	RMSE	0.00273393	RMSE	0.18713204	RMSE	0.00036377
800 W	R^2	0.99984963	R^2	0.99999751	R^2	0.99997999

finally the proposed model ($R^2 = 0.9947$, $RMSE = 0.0878$), but these values are closer to each other and there is no significant difference between them. According to the number of epochs, the proposed model was the most suitable for the drying of processed whole apricot since it contained 4 epochs, followed by ANN (85) and finally ANFIS (309).

According to Table 11 and the R^2 and RMSE values, the ANFIS model is the most suitable for describing sucrose-treated dried apricots, the proposed model for NaCl-treated apricots, and the ANN model for sodium bisulphite treated apricots. However, according to the number of epochs, the proposed model is the most suitable for drying treated whole apricots since it contains 4 epochs. The proposed model may be mainly used in future studies in the agri-food production industries, as it is inexpensive (4 epochs).

These results were comparable to those found by *Jahanbakhshi et al.*, who used ANN and ANFIS models to predict the drying behaviour of pistachio kernel in microwave dryer using US pre-treatment by *Midilli et al.* model, ANN and ANFIS, and analysing the effect of indirect independent variables in predicting the moisture ratio in pistachio kernel. They reported that the ANFIS model was better than the ANN model in terms of its higher R^2 and lower MSE.⁴¹ *Abbaspour-Gilandeh et al.*, predicted the kinetics, energy, and exergy of quince under the hot air dryer using ANN and ANFIS. The ANFIS model showed better ability to predict these parameters than artificial neural networks.⁶

4 Conclusion

The results obtained showed that the drying time decreased with the increasing microwave power. Impregnation of apricots in a salty solution (6 %) as an innovative and inexpensive pre-treatment method gave the shortest drying time compared to the other treatments. Simulation of experimental data indicated that, out of the twenty semi-empirical models used, the best fit was obtained for three models named *Modified Henderson–Pabis*, *Henderson–Pabis*, and *Two Term*. The comparison of these models with the proposed new model, ANN, and ANFIS, based on R^2 and RMSE values, confirmed that the kinetic drying data were perfectly described by the latter three models. The proposed model, ANN, and ANFIS were closer to each other by the R^2 and RMSE epochs. The proposed model used fewer epochs (4 epochs) than the other models, indicating that this model would be more applicable in agri-food industries.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the research laboratory LAPAPEZA (Laboratory for the Improvement of Agricultural Productions and Protection of Ecosystems in Dry Areas) of the University Batna 1, Algeria.

List of abbreviations and symbols

ANFIS	– adaptive neural-fuzzy inference system
ANN	– artificial neural networks
EPM	– prediction error model
MAE	– mean absolute error
MR	– moisture ratio
R	– correlation coefficient
R^2	– determination coefficient
R^2_{adj}	– adjusted coefficient
RMSE	– root mean square error
χ^2	– reduced chi-square

References Literatura

1. P. A. Roussos, N. K. Denaxa, A. Tsafouros, N. Efstathios, B. Intidhar, Chapter 2: Apricot (*Prunus armeniaca* L), in: M. S. J. Simmonds and Victor R. Preedy (Eds.), *Nutritional Composition of Fruit Cultivars*, Academic Press, Elsevier, 2016, pp. 19–48, doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408117-8.00002-7>.
2. FAO, 2019. Agro-statistics Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, URL: <http://www.faostat.fao.org/>.
3. K. Erenturk, B. Kose, S. Erenturk, Fractional order calculus approach for drying modeling of eggplants, *Food Sci. Technol. Int.* **26** (5) (2019), 108201321989585, doi: <https://doi.org/10.1177/1082013219895852>.
4. C. Tunckal, I. Doymaz, Performance analysis and mathematical modelling of banana slices in a heat pump drying system, *Renew. Energy* **150** (2020) 918–923, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.040>.
5. M. Satorabi, F. Salehi, M. Rasouli, The Influence of Xanthan and Balangu Seed Gums Coats on the Kinetics of Infrared Drying of Apricot Slices: GA-ANN and ANFIS Modeling, *Int. J. Fruit Sci.* (2021) 1–13, doi: <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1898520>.
6. Y. Abbaspour-Gilandeh, A. Jahanbakhshi, M. Kaveh, Prediction kinetic, energy and exergy of quince under hot air dryer using ANNs and ANFIS, *Food Sci. Nutr.* **8** (2020) 594–611, doi: <https://doi.org/10.1002/fsn3.1347>.
7. O. C. Elijah, K. L. Philomena, T. N. Joseph, O. N. Charles, E. O. Paschal, Evaluation of optimization techniques in predicting optimum moisture content reduction in drying potato slices, *Artif. Intell. Agricult.* **4** (2020) 39–47, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.04.001>.
8. M. Nowacka, A. Wiktor, A. Anuszevska, M. Dadan, K. Rybak, D. Witrowa-Rajchert, The application of unconventional technologies as pulsed electric field, ultrasound and microwave-vacuum drying in the production of dried cranberry snacks, *Ultrason. Sonochem.* **56** (2019) 1–13, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.03.023>.
9. M. L. Rojas, P. E. D. Augusto, J. A. Cárcel, Ethanol pre-treatment to ultrasound-assisted convective drying of apple, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* **61** (2020) 102328, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102328>.

10. A. Dasore, R. Konijeti, T. Polavarapu, N. Puppala, Convective Hot Air Drying Kinetics of Red Beetroot in Thin Layers, *Front. Heat Mass Transf. (FHMT)* **14** (2020) 23, doi: <https://doi.org/10.5098/hmt.14.23>.
11. M. Kaveh, R. A. Chayjan, I. Golpour, S. Poncet, F. Seirafi, B. Khezri, Evaluation of exergy performance and onion drying properties in a multi-stage semi-industrial continuous dryer: Artificial neural networks (ANNs) and ANFIS models, *Food Bioprod. Process.* **127** (2021) 58–76, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.02.010>.
12. A. J. Adeyi, O. Adeyi, A. D. Ogunsola, M. O. Fajobi, O. K. Ajayi, S. Oyelami, J. A. Otolorin, Moisture Absorption Characteristics and Adaptive Neuro Fuzzy Modelling of *Ampelocissus cavicaulis* Fiber Reinforced Epoxy Composite, *Lautech J. Eng. Technol. (LAUJET)* **14** (2) (2020) 89–97, URL: <https://laujet.com/index.php/laujet/article/view/383/318>.
13. G. Amini, F. Salehi, M. Rasouli, Drying Kinetics of Basil Seed Mucilage in an Infrared Dryer: Application of GA-ANN and ANFIS for Prediction of Drying Time and Moisture Ratio, *J. Food Process. Preserv.* **45** (3) (2021) e15258, doi: <https://doi.org/10.1111/jfpp.15258>.
14. M. Kaveh, Y. Abbaspour-Gilandeh, G. Chen, Drying kinetic, quality, energy and exergy performance of hot air-rotary drum drying of green peas using adaptive neuro-fuzzy inference system, *Food Bioprod. Process.* **124** (2020) 168–183, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.08.011>.
15. M. Kaveh, V. Rasooli Sharabiani, R. Amiri Chayjan, E. Taghinezhad, Y. Abbaspour-Gilandeh, I. Golpour, ANFIS and ANNs model for prediction of moisture diffusivity and specific energy consumption potato, garlic and cantaloupe drying under convective hot air dryer, *Inf. Process. Agric.* **5** (3) (2018) 372–387, doi: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.05.003>.
16. S. Jahedi Rad, M. Kaveh, V. R. Sharabiani, E. Taghinezhad, Fuzzy logic, artificial neural network and mathematical model for prediction of white mulberry drying kinetics, *Heat Mass Transf.* **54** (2018) 3361–3374, doi: <https://doi.org/10.1007/s00231-018-2377-4>.
17. H. Tahraoui, A. Belhadj, A. Hamitouche, Prediction of the Bicarbonate Amount in Drinking Water in the Region of Médéa Using Artificial Neural Network Modelling, *Kem. Ind.* **69** (2020) 595–602, doi: <https://doi.org/10.15255/KUI.2020.002>.
18. N. Hashim, O. Daniel, E. Rahaman, Preliminary Study: Kinetic Model of Drying Process of Pumpkins (*Cucurbita Moschata*) in a Convective Hot Air Dryer, *Agric. Sci. Procedia.* **2** (2014) 345–352, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.048>.
19. A. Zilouchian, M. Jafar, Automation and process control of reverse osmosis plants using soft computing methodologies, *Desalin.* **135** (2001) 51–59, doi: [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(01\)00138-2](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(01)00138-2).
20. M. Yolmeh, M. B. H. Najafi, R. Farhoosh, F. Salehi, Modeling of antibacterial activity of annatto dye on *Escherichia coli* in mayonnaise, *Food Biosci.* **8** (2014) 8–13, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2014.09.001>.
21. D. Atsamnia, M. Hamadache, S. Hanini, O. Benkortbi, D. Oukrif, Prediction of the antibacterial activity of garlic extract on *E. coli*, *S. aureus* and *B. subtilis* by determining the diameter of the inhibition zones using artificial neural networks, *LWT – J. Food Sci. Technol.* **82** (2017) 287–295, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.053>.
22. H. Ousmana, A. E. Hmaidi, M. Berrada, B. Damnati, I. Etabaai, A. Essahlaoui, Development of a Neural Network approach for Predicting nitrate and sulfate concentration in three lakes: Ifrah, Iffer and Afourgagh, Middle Atlas Morocco, *Mor. J. Chem.* **6** (2) (2018) 245–255, doi: <https://doi.org/10.48317/IMIST.PRSM/morjchem-v6i2.5939>.
23. A. Hammoudi, K. Moussaceb, C. Belebchouche, F. Dahmoune, Comparison of artificial neural network (ANN) and response surface methodology (RSM) prediction in compressive strength of recycled concrete aggregates, *Constr. Build. Mater.* **209** (2019) 425–436, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.119>.
24. D. Mierzwa, J. Szadzinska, A. Pawłowski, R. Pashminehazar, A. Kharaghani, Nonstationary convective drying of raspberries, assisted by microwaves and ultrasound, *Dry. Technol.* **37** (2019) 988–1001, doi: <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1481087>.
25. J. Szadzinska, J. Lechtanska, R. Pashminehazar, A. Kharaghani, E. Tsotsas, Microwave- and ultrasound-assisted convective drying of raspberries: Drying kinetics and microstructural changes, *Dry. Technol.* **37** (2019) 1–12, doi: <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1433199>.
26. M. Celia Roman, M. Paula Fabani, L. Celina Luna, G. Egly Feresin, G. Mazza, R. Rodriguez, Convective drying of yellow discarded onion (Angaco INTA): Modelling of moisture loss kinetics and effect on phenolic compounds, *Inf. Process. Agric.* **7** (2) (2019) 333–341, doi: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.07.002>.
27. O. Sufer, S. Sezer, H. Demir, Thin layer mathematical modeling of convective, vacuum and microwave drying of intact and brined onion slices, *J. Food Process. Preserv.* **41** (2017) e13239, doi: <https://doi.org/10.1111/jfpp.13239>.
28. A. Djebli, S. Hanini, O. Badaoui, B. Haddad, A. Benhamou, Modeling and comparative analysis of solar drying behavior of potatoes, *Renew. Energy* **145** (2020) 1494–1506, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.083>.
29. H. O. Güler, A. Sözen, A. D. Tuncer, F. Afshari, A. S. Khanlari, C. Irin, A. Gungor, Experimental and CFD survey of indirect solar dryer modified with low-cost iron mesh, *Sol. Energy* **197** (2020) 371–384, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.01.021>.
30. Y. Abbaspour-Gilandeh, M. Kaveh, A. Jahanbakhshi, The effect of microwave and convective dryer with ultrasound pre-treatment on drying and quality properties of walnut kernel, *J. Food Process. Preserv.* **43** (2019) e14178, doi: <https://doi.org/10.1111/jfpp.14178>.
31. O. O. Olabinjo, A. T. Adeniyani, Modelling the Drying Kinetics of Monkey Cola (*Cola parhycarpa*), *Sci. Modell. and Res.* **5** (1) (2020) 1–13, doi: <https://doi.org/10.20448/808.5.1.1.1>.
32. N. Izli, A. Polat, A effect of convective and microwave methods on drying characteristics, color, rehydration and microstructure properties of ginger, *Food Sci. Technol.* **39** (2019) 1–8, doi: <https://doi.org/10.1590/fst.04518>.
33. Z. Wang, J. Sun, X. Liao, F. Chen, G. Zhao, J. Wu, X. Hu, Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace, *Food Res. Int.* **40** (2007) 39–46, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.07.017>.
34. S. Keskes, S. Hanini, M. Hentabli, M. Laidi, Artificial Intelligence and Mathematical Modelling of the Drying Kinetics of Pharmaceutical Powders, *Kem. Ind.* **69** (2020) 137–152, doi: <https://doi.org/10.15255/kui.2019.038>.
35. P. K. Chandra, R. P. Singh, *Applied Numerical Methods for Food and Agricultural Engineers*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1995, pp. 513, doi: <https://doi.org/10.1201/9781315137650>.
36. I. T. Togrul, D. Pehlivan, Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers, *J. Food Eng.* **55** (2002) 209–216, doi: [https://doi.org/10.1016/s0260-8774\(02\)00065-1](https://doi.org/10.1016/s0260-8774(02)00065-1).
37. K. Sacilik, R. Keskin, A. K. Elicin, Mathematical modelling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato, *J. Food Eng.* **73** (2006) 231–238, <https://doi.org/10.1016/j.jfood>

- eng.2005.01.025.
38. S. Alam, K. Gupta, H. Khaira, M. Javed, Quality of dried carrot pomace powder as affected by pretreatments and methods of drying, *Agric. Eng. Int. CIGR J.* **15** (2013) 236–243.
 39. E. Horuz, H. Bozkurt, H. Karataş, M. Maskan, Drying kinetics of apricot halves in a microwave-hot air hybrid oven, *Heat Mass Transf.* **53** (2017) 2117–2127, doi: <https://doi.org/10.1007/s00231-017-1973-z>
 40. R. P. Kingsly, R. K. Goyal, M. R. Manikantan, S. M. Ilyas, Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behaviour of peach slice, *Int. J. Food Sci. Technol.* **42** (2007) 65–69, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01210.x>.
 41. A. Jahanbakhshi, M. Kaveh, E. Taghinezhad, V. Rasooli Sharabiani, Assessment of kinetics, effective moisture diffusivity, specific energy consumption, shrinkage, and color in the pistachio kernel drying process in microwave drying with ultrasonic pretreatment, *J. Food Process. Preserv.* **44** (6) (2020) e14449, doi: <https://doi.org/10.1111/jfpp.14449>.

SAŽETAK

Umjetna inteligencija i matematičko modeliranje kinetike sušenja prethodno obrađenih cjelovitih plodova marelice

Abla Bousselma,^{a*} Dalila Abdessamed,^b Hichem Tahraoui^c i Abdeltif Amrane^d

Ovim istraživanjem obuhvaćeno je praćenje i modeliranje kinetike sušenja cjelovitih plodova marelice prethodno obrađenih otopinama saharoze, natrijeva klorida i natrijeva bisulfita. Sušenje je provedeno u mikrovalnoj pećnici pri različitim snagama (200, 400 i 800 W). Za predviđanje vremena sušenja (*DT*) i omjera vlage (*MR*) primijenjena su dva modela umjetne inteligencije: umjetna neuronska mreža (*ANN*) i prilagodljivi sustav neizrazitog zaključivanja zasnovanog na neuronskoj mreži (*ANFIS*). S druge strane, za predviđanje *MR*-a upotrijebljeno je 20 postojećih poluempirijskih modela te jedan koji su autori izradili sami. Rezultati su, kod sve tri primijenjene obrade, pokazali redukciju vremena sušenja s povećanjem snage mikrovalne pećnice. Tretman otopinom natrijeva klorida pokazao se najpogodnijim. Koeficijenti korelacije *ANN* modela za vrijeme sušenja (0,9992) i omjer vlage (0,9997) bili su viši nego kod *ANFIS* modela (0,9941 i 0,9995). Za dvadeset primijenjenih polu-empirijskih modela, tri modela pokazala su se podudarnim s rezultatima ovog istraživanja (*modificirani model Hendersona i Pabisa*, *model Hendersona i Pabisa* te *model dvaju pojmovna*). Uspoređujući tri spomenuta modela i model predložen u ovom radu, kao i predviđanje *MR*-a *ANN*-om, uočeno je da je model predložen u radu najprikladniji za opisivanje kinetike sušenja marelice tretirane otopinom natrijeva klorida. Takvi rezultati ukazuju da bi se predloženi model potencijalno mogao ubuduće primjenjivati za simulaciji kinetike sušenja voća i povrća.

Ključne riječi

Marelica, kinetika sušenja, mikrovalna pećnica, modeli, *ANN*, *ANFIS*

^a Laboratory (LAPAPEZA), Department of Food Technology, University of Batna 1
Hadj Lakhdar, Biskra Avenue, Batna, 05005, Alžir

^b Laboratory (LAPAPEZA), Institute of Veterinary and Agricultural Sciences, University of Batna 1
Hadj Lakhdar, Biskra Avenue, Batna, 05005, Alžir

^c Laboratory of Biomaterials and Transport Phenomenon (LBMPT), Faculty of Technology, University Yahia Fares of Médéa, 26 000, Alžir

^d Univ Rennes, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Rennes, CNRS, ISCR-UMR6226, F-35 000 Rennes, Francuska

Izvorni znanstveni rad
Prispjelo 14. prosinca 2020.
Prihvaćeno 30. travnja 2021.

The drying kinetics of apricots undergo steam blanching in a microwave oven

BOUSSELMA Abla
Department of Food Technology
LAPAPEZA, University Batna 1
Batna 1, Algeria
abla.bousselma@univ-batna.dz

ABDESSEMED Dalila
Department of Food Technology
LAPAPEZA, University Batna 1
Batna 1, Algeria
dalila.abdessemed@univ-batna.dz

Abstract— This study aims to determine the influence of drying apricots undergoing a steam blanching treatment by microwave oven at different powers (200, 400 and 800 W). In order to market a product of good nutritional quality (sugar content, polyphenol content and mineral salt content), limit the imports of dried fruit abroad, encourage local products, increase the shelf life of the studied fruit and obtain apricot-based foodstuffs in four seasons. The drying process was carried out between 270 and 510 s, depending on the power level of the microwave oven. Several literature models are used to simulate the drying kinetics of dried apricots. The modified Henderson & Pabis and Henderson-Pabis models were considered to be the best experimental drying curves for apricots undergo steam blanching.

Keywords—drying; microwave; steam blanching; kinetics; insert (key words)

Introduction

Fruits and vegetables are vegetable products of high nutritional value. These foods contain: water, carbohydrates, lipids, proteins, mineral salts, vitamins and various microconstituents. In addition, they have very interesting biological virtues related to the presence of fibers essential to the digestive tract and polyphenols which are involved in the protection of degenerative and neurodegenerative diseases [1].

The apricot fruit is highly appreciated by consumers due to its delicious taste, appealing smell, vivid colors, and numerous nutritional properties which is a result of its rich content of minerals, fibers, sugars and bioactive phytochemicals, including vitamin C, β -carotene, thiamine, riboflavin, niacin, and pantothenic acid, as well as phenols, carotenoids, and tocopherols [2].

There are several pre-treatments used to maintain texture, colour, inhibit enzymatic browning reactions and Fruit Maillard Reaction, such as Osmotic Dehydration, Sulphide Treatment, Sodium Bisulphite and Steam Bleaching.

To increase the shelf life of the fruit, several techniques are used such as freezing, deep-freezing, canning and drying. Drying is the oldest and most popular preservation method for food and agricultural products. The fundamental concept of drying is to trim down moisture of products to a level, which will stop microbiological growth and keep the product's nutritive value and bioactive compounds in considerably higher levels [3].

Microwave heating is highly popular in a variety of industrial and domestic applications. The major factor supporting the popularity of microwave heating is its rapidness which matches very well the current fast lifestyle

of people. Other advantages of microwave heating are its ease of operation, low maintenance, and instant heating. The combination of traditional means of drying (such as hot air) with microwave technology can reduce processing times, produce higher quality foods, and provide flexibility in the selections of foods to be dried, thus it is widely used in the food industry [4].

Mathematical models are used to simulate the drying process. The objective of this study is to characterize the kinetics of apricots undergoing a steam blanching treatment by microwave at different powers (200, 400 and 800 W), then the modeling of these kinetics by different literature models.

I. MATERIAL AND METHODS

SAMPLE

The variety of apricot used in our study is very widespread (variety of local population; Pinkish), it is spherical in shape, more or less flattened on both poles. It has a beautiful yellow and red colouring, of very good taste quality. The flesh is firm, juicy and fragrant. This fruit is of origin of the wilaya of batna (region of Ichemol, Batna, Algeria).

Sample preparation

Before drying the fruit must undergo several treatments:

- Bleaching: is carried out with steam at a temperature of 95-100°C, for 2 minutes (softens the product and eliminates enzymes).

Drying methods

Drying is done in cycles (30 sec ON / 30 sec OFF), each cycle corresponding to the application of microwaves (LG brand) at a given power for 30 sec followed by 30 sec off. At the end of each cycle, the products are weighed on a precision scale.

Drying kinetics are thus determined by the evolution of the mass of the products after each cycle, given the heterogeneity of microwave heating, and the average value of 10 repetitions is determined.

Method of operation

- We took 10 glasses on display, previously cleaned, dried and cooled in a desiccators.

- Inside the show glass we put 16 grams of whole apricots;
- The show glasses containing the samples were then placed in the microwave.

- The microwave drying kinetics are determined for three different powers (200, 400 and 800 W).

- After 30 seconds of drying, the glasses are removed from the microwave and not placed in a desiccators.

- We weighed each sample with a precision balance.
- This operation is repeated regularly for each 30-second interval.
- Drying is stopped when the residual moisture content of the product is less than 5%.

Mathematical modeling

The moisture ratio (MR) of drying samples at any time is calculated according to the following equation:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

Where M, M₀ and M_e are moisture content at any time (kg water.kg dry matter⁻¹), initial moisture content (kg water.kg dry matter⁻¹) and equilibrium moisture content (kg water.kg dry matter⁻¹) respectively[5].

To describe the drying rate of apricots subjected to steam bleaching and to determine the most appropriate empirical equation, we used several models from the literature, but there are 3 models that are suitable for this study (Table 1).

TABLE 1. Mathematical models applied to the drying curves [6].

Model name	Model equation
Modified Henderson & Pabis	$MR = a \cdot \exp(-kt) + b \cdot \exp(-K't) + c \cdot \exp(-K''t)$
Henderson & Pabis	$MR = a \cdot \exp(-kt)$
Two Term	$MR = a \cdot \exp(-Kt) + B \cdot \exp(-K' t)$

a, b, c, coefficients and n, specific exponent of each drying equation; k, K', K'' specific coefficients of each drying equation, t is the drying time.

The correlation coefficient (r) was one of the primary criterions for selecting the best equation to define the drying curves of apricots. In addition to r, the various statistical parameters such as: reduced chi-square (v2), mean bias error (MBE) and root mean square error (RMSE) were used to determine the quality of the fit. These parameters can be calculated as following:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{pre} - MR_{exp,i})^2} \quad (2)$$

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - n} \quad (3)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Where MR_{exp,i} stands for the experimental moisture ratio and in any measurement and MR_{pre,i} is predicted moisture ratio for this measurement. N and n are the number of observations and the number of constants [7].

II. RESULTS AND DISCUSSIONS

Drying of apricot

The changes in moisture ratio (MR) as a function of drying time (t) for the three microwave powers (200, 400 and 800W) are shown in Figures 1:

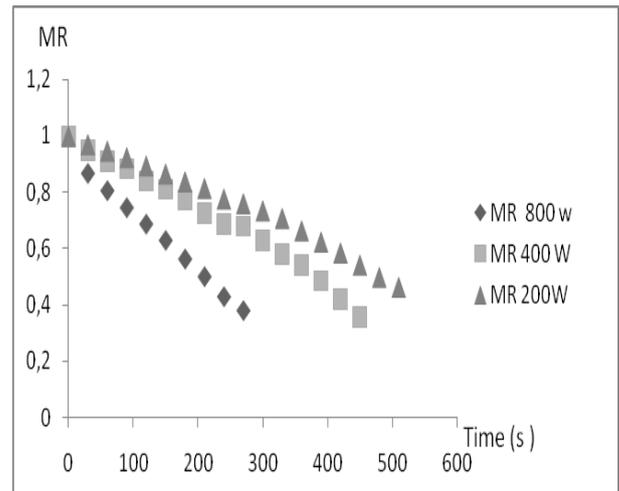


Fig.1. Evolution of MR as a function of time for apricots subjected to steam bleaching in a microwave oven.

According to Sacilik [8], In the first phase we observe the heating of the product to be dried and then a strong evaporation of free water from the product for both powers 200, 400 and 800 W power the drying kinetics curve is short and not phase presence; drying characteristics are also influenced by the dielectric material (Loss factor) and thermal properties (Latent heat of vaporization), initially the water content was high in the apricot and less microwave energy was absorbed; the apricot was heated by radiation and therefore the evaporation of the water was accelerated. The drying time is reduced with the increase in power due to the energy supplied by the microwave. In the second phase the apricot water content is reduced and therefore the evaporation of the water is reduced (The slowing down begins when the free water is reduced).

The level of microwave power has a great influence on the evolution and drying time of the apricot. Then the drying kinetics at 400 and 800W have the shortest time, so our study frame shows that there is a remarkable influence of power on the microwave drying kinetics.

Method of operation

- We took 10 glasses on display, previously cleaned, dried and cooled in a desiccators.
- Inside the show glass we put 16 grams of whole apricots;
- The show glasses containing the samples were then placed in the microwave.
- The microwave drying kinetics are determined for three different powers (200, 400 and 800 W).
- After 30 seconds of drying, the glasses are removed from the microwave and not placed in a desiccators.
- We weighed each sample with a precision balance.
- This operation is repeated regularly for each 30-second interval.
- Drying is stopped when the residual moisture content of the product is less than 5%.

Mathematical modeling

The moisture ratio (MR) of drying samples at any time is calculated according to the following equation:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

Where M , M_0 and M_e are moisture content at any time (kg water.kg dry matter⁻¹), initial moisture content (kg water.kg dry matter⁻¹) and equilibrium moisture content (kg water.kg dry matter⁻¹) respectively[5].

To describe the drying rate of apricots subjected to steam bleaching and to determine the most appropriate empirical equation, we used several models from the literature, but there are 3 models that are suitable for this study (Table 1).

TABLE 1. Mathematical models applied to the drying curves [6].

Model name	Model equation
Modified Henderson & Pabis	$MR = a.exp(-kt) + b.exp(-K't) + c.exp(-K''t)$
Henderson & Pabis	$MR = a.exp(-kt)$
Two Term	$MR = a.exp(-Kt) + B.exp(-K' t)$

a , b , c , coefficients and n , specific exponent of each drying equation; k , K' , K'' specific coefficients of each drying equation, t is the drying time.

The correlation coefficient (r) was one of the primary criterions for selecting the best equation to define the drying curves of apricots. In addition to r , the various statistical parameters such as: reduced chi-square (χ^2), mean bias error (MBE) and root mean square error (RMSE) were used to determine the quality of the fit. These parameters can be calculated as following:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2} \quad (2)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - n} \quad (3)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Where $MR_{exp,i}$ stands for the experimental moisture ratio and in any measurement and $MR_{pre,i}$ is predicted moisture ratio for this measurement. N and n are the number of observations and the number of constants [7].

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

Drying of apricot

The changes in moisture ratio (MR) as a function of drying time (t) for the three microwave powers (200, 400 and 800W) are shown in Figures 1:

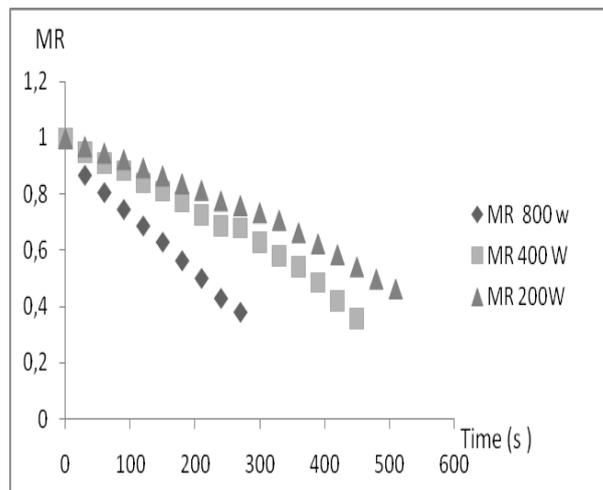


Fig.1. Evolution of MR as a function of time for apricots subjected to steam blanching in a microwave oven.

According to Sacilik [8], In the first phase we observe the heating of the product to be dried and then a strong evaporation of free water from the product for both powers 200, 400 and 800 W power the drying kinetics curve is short and not phase presence; drying characteristics are also influenced by the dielectric material (Loss factor) and thermal properties (Latent heat of vaporization), initially the water content was high in the apricot and less microwave energy was absorbed; the apricot was heated by radiation and therefore the evaporation of the water was accelerated. The drying time is reduced with the increase in power due to the energy supplied by the microwave. In the second phase the apricot water content is reduced and therefore the evaporation of the water is reduced (The slowing down begins when the free water is reduced).

The level of microwave power has a great influence on the evolution and drying time of the apricot. Then the drying kinetics at 400 and 800W have the shortest time, so our study frame shows that there is a remarkable influence of power on the microwave drying kinetics.

Modeling the drying kinetics of apricots

In this study, drying kinetics are modelled by three mathematical models (Henderson & Pabis, Two Term and Modified Henderson & Pabis). The calculated values of the statistical parameters used are shown in Table 2.

The three models are compared using the values of the coefficient of determination (R^2), reduced ki-square (χ^2) and root mean square error (RMSE).

TABLE 2. The modeling of drying kinetics of apricots undergoes a steam blanching treatment by microwave oven at 200 W power.

Mode name	Model constants	R^2	χ^2	RMSE
Modified Henderson & Pabis	a= 65.248 K=0.0001 b= -21.1707 K' = 0.0003 C =43.0868 K''= 2.55E-13	0.998	6.84E-03	4.56E-03

Henderson & Pabis	a= 1.0396 K=0.0013	0.9646	0.01791695	0.00029219
Two Term	a= 0.0014 K= 0.0541 b= -5.4549	0.9692	0.0002005	0.00015597

TABLE 3. The modeling of drying kinetics of apricots undergoes a steam blanching treatment by microwave oven at 400 W power.

Mode name	Model constants	R ²	X ²	RMSE
Modified Henderson & Pabis	a= 96.6889 K=0.0001 b= 31.1446 K' = 0.0003 C =64.5636 K' = 3.83E-08	0.9953	9.32E-03	5.82E-03
Henderson & Pabis	a= 1.036 K=0.0019	0.9604	0.01383715	0.00045693
Two Term	a= 0.7618 K= 1.0524 b= 0.0019	0.9638	0.00071268	0.00053451

TABLE 4. The modeling of drying kinetics of apricots undergoes a steam blanching treatment by microwave oven at 800 W power.

Mode name	Model constants	R ²	X ²	RMSE
Modified Henderson & Pabis	a= 0.0153 K=819.9097 b= 0.3825 K' = 0.0032 C=0.6022 K' = 0.0032	0.9904	0.012017	0.00160839
Henderson & Pabis	a= 0.9919 K=0.0033	0.99	8.64E-05	6.91E-05
Two Term	a= 2.35E-12 K= 1.7506 b= 0.0015	0.9942	0.22323675	0.13394205

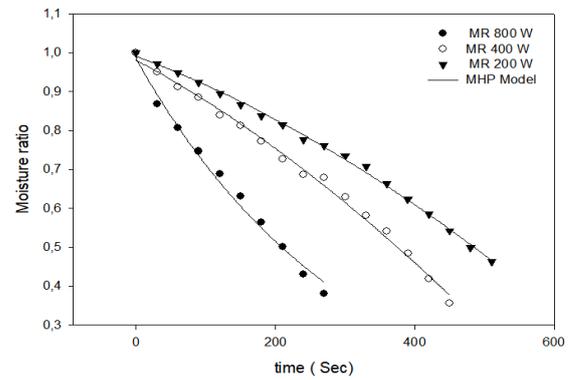


Fig.2. Modelling the drying kinetics of apricots subjected to microwave steam blanching treatment: Modified Henderson & Pabis model.

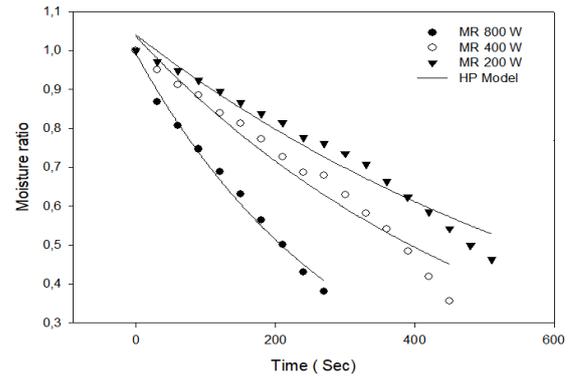


Fig.3. Modelling the drying kinetics of apricots subjected to microwave steam blanching treatment :Henderson-Pabis model .

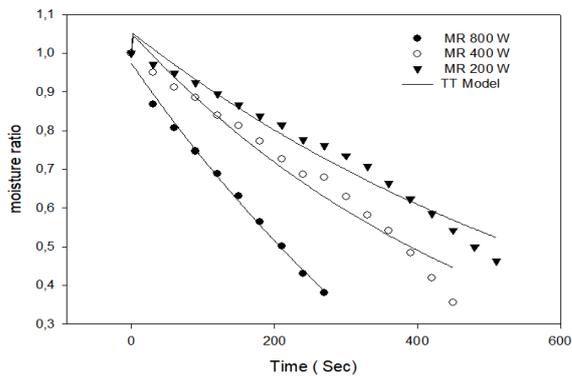


Fig.4. Modelling the drying kinetics of apricots subjected to microwave steam blanching treatment : Two Term model.

In this work models drying kinetics using three mathematical models (Modified Henderson & Pabis, Henderson-Pabis and Two Term). The calculated values of the statistical parameters used are shown in Tables 2, 3 and 5.

The three models are compared according to the values of the coefficient of determination (R²), the reduced square Ki-(x²) and the square root mean square error (RMSE).

Under the experimental conditions studied, these values range from 0.9604 to 0.998 respectively; 8.64E-05 to 0.22323675 and 6.91E-05 to 0.13394205 for apricots undergoing steam blanching.

The Henderson-Pabis model is the most appropriate model to describe and present experimental data on microwave drying of steam blanched apricots, followed by the modified Henderson & Pabis model and finally the Two Term model.

According to the literature, no research has been done in the literature to describe the drying data using the 3 models for whole apricot, the work on the apricot half.

Figures 2, 3 and 4 show a comparison between experimental data and those predicted from three models for whole apricots. As can be seen from these figures, there was good agreement between the experimental and predicted moisture content values, which also shows the usefulness of the models for describing the drying behaviour of whole apricots.

IV. Conclusion

In this study, the effects of the drying kinetics of whole apricot undergoing a steam blanching treatment were studied using a microwave at different powers (200, 400 and 800 W). The increase in microwave power shortened the drying time. The experimental data were adjusted to eleven and the Modified Henderson & Pabis model proved to be a better model to describe the whole apricot characteristic.

ACKNOWLEDGMENT

This study was supported by the research laboratory LAPAPEZA (Laboratory for the Improvement of Agricultural Productions and Protection of

Ecosystems in Dry Areas) of the University Batna 1, Algeria.

References

- [1] J. Pincemaila, F. Degruneb, S. Voussurec, C. Malherbec, N. Paquotd, J.o., "Defraignea, Effect of a diet rich in fruits and vegetables on the plasmatic antioxidant rates and of the markers of the oxidative damage" "Effet d'une alimentation riche en fruits et légumes sur les taux plasmatiques en antioxydants et des marqueurs des dommages oxydatifs,"J. Nutr. clinique et métabolisme 21 (2007) 66–75, doi:10.1016/j.nupar.2007.04.005
- [2] A. V. Gálvez, I. Quispe-Fuentesa,E. Uribe, J.Martinez-Monzo, A.Pasten and R. Lemus-Mondaca, "Bioactive compounds and physicochemical characterization of dried apricot (*Prunus armeniaca* L.) as affected by different drying temperatures,"J.Food, 2019, 17, NO. 1, 297–306, <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1577918>.
- [3] S. Boudraa, "Impact of microwave-grill-drying (mugd) on functional properties of berry russian olive (*Elaeagnus angustifolia* L.),"J.Bio.Food Sci Vol. 07, e2752019 JBFS, 2020, <http://dx.doi.org/10.18067/jbfs.v7i1.275>
- [4] M. Regier,K. Knoerzer,H. Schubert, "The Microwave Processing of Foods,"6nd ed., Msterdam, Boston , Heidelberg London New york ,Oxford ,Paris , San diego ,San francisco , Singapore , Sydney , Tokyo,2017,pp.23 – 477.
- [5] S. Aral, A. V. Bese, Convective drying of hawthorn fruit (*Crataegus* spp.): Effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity,"J.Food Chem., 210, 577–584. doi:10.1016/j.foodchem.2016.04.128.
- [6] B.Özbek , G. Dadali, "Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment," J. of Food Eng, 83, 2007, 541- 549.Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.04.004.
- [7] T. Toğrul, D. Pehlivan, "Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers,"J. Food Eng., 55, 209– 216, 2002.

- [8] K.Sacilik, "The Thin-Layer Modelling of Tomato Drying Process, Agr Conspectus Sci," 72, 2007, 73-74. <https://hrcak.srce.hr/19403>