

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAIA- ADRAR-

جامعة أحمد درايا- أدرار



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences de la Matière

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

Option : Chimie de l'Environnement

Thème

**Etude comparative entre deux méthodes de
conservation d'un produit agroalimentaire,
le séchage solaire et la congélation**

Présenté Par :
Mohammed Dehaoui
et
Houssine Habchi

Devant le jury composé de:

Dr.LAKSACI Hamza	Président	MCB	Université Ahmed Draia-Adrar
Dr. RADJI Ghania	Examinatrice	MCB	Université Ahmed Draia -Adrar
Dr. Loumani Akil	Promoteur	MRA	UERMS - Adrar

Année Universitaire 2021/2022

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria

Ministry of Higher Education and
Scientific Research
University Ahmed Draia of Adrar
The central library



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة أحمد دراية- أدرار
المكتبة المركزية
مصلحة البحث الببليوغرافي

شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ: لوماني عقيل

المشرف مذكرة الماستر الموسومة بـ :
Etude comparative entre deux méthodes de
conservation d'un produit agroalimentaire, le séchage solaire et la congélation

من إنجاز الطالب: دحاوي محمد

و الطالب: جبشي حسن

كلية: العلوم والتكنولوجيا

القسم: علوم المادة

التخصص: كيمياء المحيط

تاريخ تقييم / مناقشة: 2022_06_09

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة بين النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.
وإمكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والإلكترونية (PDF).

أدرار في: 2022/06/19

مساعد رئيس القسم:

بلعزم الكادة في محرم 2022

مستشار قسم علوم المادة بكلية العلوم والتكنولوجيا
التدرج والمرتبة العليا بكلية العلوم والتكنولوجيا

امضاء المشرف:



Dédicace

je dédie ce mémoire

" Vers lequel le ciel est sous ses pieds "ma mère bien-aimée-

Celui qui a travaillé dur pour m'élever "mon père bien – aimé

A mes chères sœurs et à mes frères bien-aimés

A toute ma chère famille-

A tous ceux qui m'ont appris une lettre dans ce monde mortel-

*A ma petite amie et compagnon dans cette recherche "**Dehaoui Mohammed,***



Habchi Houssyn



Dédicace

Dieu soit loué, qui nous a permis de faire cela, et nous ne l'aurions pas atteint si ce n'était de la grâce et de la miséricorde de Dieu envers nous

Je dédie cet humble travail à ceux pour qui le noble verset a été révélé

À qui les mots ne peuvent remplir leur droit, ni les nombres compter leur faveur

A celui qui m'a élevé, illuminé mon chemin, veillé à mon confort, réjoui de ma joie et attristé de ma tristesse, à la personne la plus précieuse de ce L'univers, ma mère bien-aimée, que Dieu me soutienne.

À celui qui a travaillé dur sur mon chemin et m'a appris le sens de la lutte et m'a conduit là où je suis, mon cher père, que Dieu ait pitié de lui.

A mes frères et sœurs, à mes deux neveux et à tous mes proches.

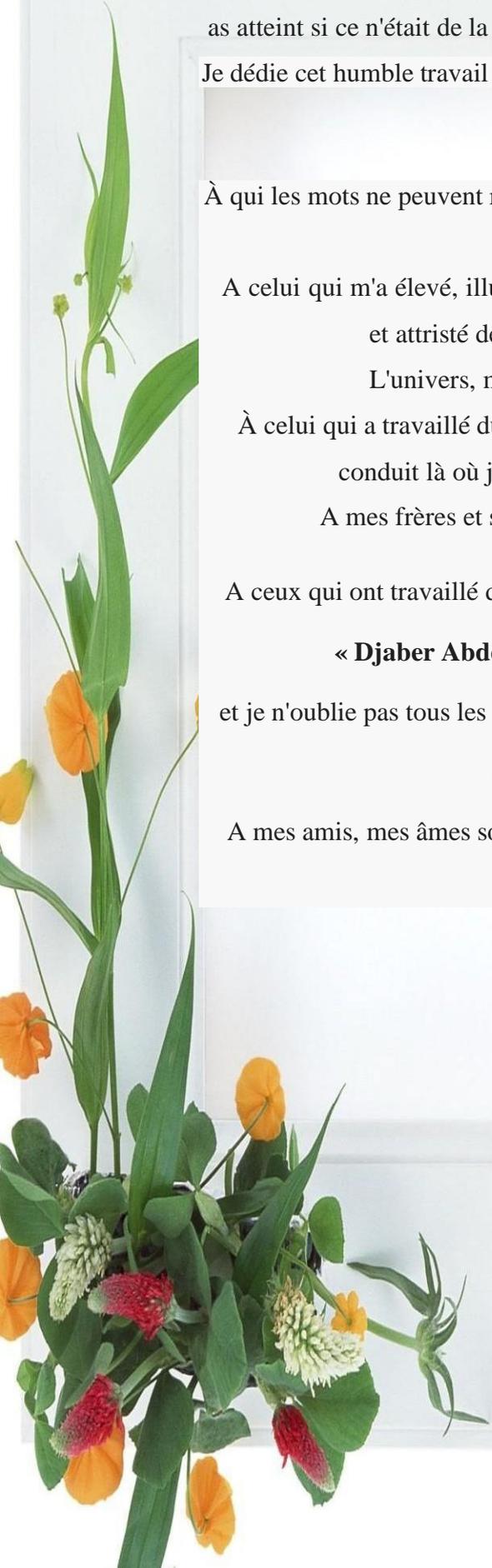
A ceux qui ont travaillé dur avec moi pour mener à bien ce travail, les professeurs

« Djaber Abdel Karim et Tigani Cherif ». "Loumani Akil"

et je n'oublie pas tous les responsables de l'unité des énergies renouvelables. A tous ceux qui m'ont appris une lettre.

A mes amis, mes âmes sœurs, surtout mes camarades de classe, et à tous ceux que j'aime.

Dehaoui Mohammed



Remerciements

C'est un réel plaisir pour nous de garder ces lignes comme preuve de la profonde gratitude et de l'appréciation de tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation et à l'aboutissement de ce travail.

Tout d'abord, Nous remercions Dieu le tout-puissant de nous avoir aidé à accomplir cette humble œuvre.

Tous les éloges et la gratitude vont à Allah, car nous avons réussi et nous avons inspiré avec patience pour les difficultés auxquelles nous avons du faire face pour accomplir cet humble travail.

Merci à chaque enseignant qui nous a fait part de ses connaissances étapes de l'étude jusqu'à ce moment.

Nous remercions également le **Dr. Loumani Akil** qui nous a aidé à mener à bien nos recherches.

Nous remercions également, les responsables de l'URERMS pour avoir nous autorisé et nous accueilli au sein de leur établissement.

Les ingénieurs de labo de séchage **Tigani Cherif** et **Djaber Abdelkrim**

Aussi nos remerciements vont aux membres de jury, président et examinateur, pour avoir accepté présider et juger ce modeste travail.

En fin de compte, nous ne pouvons que prier dieu le tout-puissant de nous accorder le paiement, les conseils, la chasteté et la richesse, et de nous faire des dons guidés

Le Résumé

La viande d'ovin est un de source de protéine, pour cela est milieu très favorable pour la croissance des bactéries pathogène, alors, la conservation de ce produits est une étape crucial pour assurer la qualité hygiénique, plusieurs mode de conservation a été fait pour garder et utiliser à tous les moments à savoir le fumage, la congélation, la surgélation , le séchage électrique et solaire , notre bute de ce mémoire de master est de faire la comparaison entre de mode de conservation la congélation à la température de -5°C et le séchage solaire indirect , en étudiant la caractérisation physicochimique , et la caractérisation microbiologique .

Mots clés : La viande, séchage solaire, la congélation, caractérisation microbiologique, la caractérisation physicochimique

الملخص

لحم الأغنام هو مصدر للبروتين، لذلك فهو وسيلة مواتية جداً لنمو البكتيريا المسببة للأمراض ، لذا فإن الحفاظ على هذا المنتج يعد خطوة حاسمة لضمان الجودة الصحية ، وقد تم إجراء العديد من طرق الحفظ للحفظ والاستخدام على الإطلاق مرات ، وهي التدخين ، والتجميد ، والتجميد العميق ، والتجفيف الكهربائي والشمسي ، وهدفنا من أطروحة الماجستير هذا هو إجراء مقارنة بين التجميد عند درجة حرارة -5 درجة مئوية والتجفيف الشمسي غير المباشر ، ودراسة التوصيف الفيزيائي الكيميائي ، وعلم الأحياء الدقيقة. التوصيف. الكلمات المفتاحية: اللحم، التجفيف الشمسي، التجميد، التوصيف الميكروبيولوجي، التوصيف الفيزيائي الكيميائي

The summary

Sheep meat is a source of protein, for this it is a very favorable environment for the growth of pathogenic bacteria, so the preservation of this product is a crucial step to ensure hygienic quality, several preservation methods have been made for keep and use at all times, namely smoking, freezing, deep-freezing, electric and solar drying, our aim of this master's thesis is to make the comparison between freezing at a temperature of -5°C and indirect solar drying, by studying the physicochemical characterization, and the microbiological characterization.

Key words : Meat, solar drying, freezing, microbiological characterization, physicochemical characterization

La liste des figures

Figure II.1: Isotherme d'équilibre.....	22
Figure II.2: Isotherme d'adsorption et de désorption.....	24
Figure II.3: Périodes du séchage	26
Figure II.4: Différents types de séchoirs solaires	29
Figure II.5 : Séchoir solaire indirect.....	30
Figure II.6 : Séchoir solaire mixte à circulation forcé	31
Figure II.7: Séchoir solaire hybride solaire gaz	32
Figure II.8: Mode de transfert lors du séchage.....	32
Figure II.9: Echange thermique et massique dans une tranche du caisson de dessiccation.....	34
Figure III.1: danger de développement des microorganismes lors du maintien a des températures positives	45
Figure III.2: Action de la température sur les micro-organismes	46
Figure III.3: La Surgélation appliquée à la Pâtisserie présente plus d'avantages	47
Figure III.4: La cellule de surgélation rapide.....	48
Figure IV.1: courbe de la cinétique du séchage	67
Figure IV.2: Courbe d'étalonnage d'humidité	69
Figure IV.3: Courbe d'étalonnage de MS.....	70
Figure IV.4: Courbe d'étalonnage de MO.....	70
Figure IV.5: Courbe d'étalonnage de matière minéral	71
Figure IV.6: le Proc entage de matière grasse.....	72
Figure IV.7: Courbe d'étalonnage de Sucre.....	73
Figure IV.8: Courbe d'étalonnage de l'acidité.....	74

La liste de Photos

Photo IV.N°:1 de marché Tulloline (viande).....	53
Photo IV. N°:2 Echantillon de la viande	56
Photo IV.N°:2 Préparation de échantillon.....	55
Photo IV.N°:3 séchoirs photo séchage solaire	56
Photo IVN°:4 Détermination de la teneur en eau	57
Photo N°:5 L'étape de matière grâce par la méthode de la Soxhlet	59
Photo N°:6 Incinération	59
Photo N°:7. Minéralisation	62
Photo N°:8. Distillation	62
Photo N° :9. Titrage	62
Photo N°:10 déterminations du pH	63
Photo n°11 : Préparation du milieu de culture.....	64
Photo n°12: Les coulages de Boite pétrie.....	65
Photo n'13: Recherche et dénombrement des coliforme	66
Photo n'14: ajoutée de la gélose BP	66

La liste des Tableaux

Tableau I.1: compare un certain nombre de facteurs biologiques	7-9
Tableau II.1: Valeur minimale de là l'activité de l'eau permettant la croissance des Principaux types de micro-organismes.....	18
Tableau II.2: Modèles des courbes de sorption, désorption	25
Tableau II.3 : Différents modèles mathématiques de séchage.....	40-41
Tableau IV.1: Résultat des Incinération de chaque produit.....	60
Tableau IV.2: Cinétique de la Séchage.....	67
Tableau IV.3: Les résultats d'analyses physico-chimiques	68
Tableau IV.4: Résultat de l'humidité	68
Tableau IV.5: Résultat de la MS	69
Tableau IV.6: Résultat de la MO	70
Tableau IV.7: Résultat de la matière minéral.....	71
Tableau IV.8: Résultat de la matière grasse.....	72
Tableau IV.9: Résultat de teneur de sucre.....	72
Tableau IV.10 : Résultat de là l'acidité.....	73
Tableau.IV.11 : Résultats d'analyse microbiologie de la viande agneau	74

Sommaire

Introduction Générale

I

Chapitre I : Les méthodes des conservations

I. Définition	1
I.1. Objectifs de la conservation des aliments	1
I.2. Différentes techniques de conservation.....	1
I.2.1. Le froid.....	1
a. Réfrigération	2
b. Congélation.....	2
I.2.2. Traitement thermique	2
a. Pasteurisation	2
b. Stérilisation	3
I.2.3. Réduction de l'activité de l'eau (aw)	4
a- Réduction de l'aw par déshydratation	4
b- Réduction de l'aw par ajout d'agents dépresseurs	4
I.2.4. Méthodes chimique.....	4
a- Additifs alimentaires	4
a-1- Conservateurs.....	4
a.2- Antioxydants	4
b-Acidification.....	5
c-Fumage	5
I.2.5. Autres techniques.....	5
a-Maîtrise du potentiel d'oxydo-réduction.....	5
b-Radiations ionisantes.....	5

Sommaire

c-Ferme notation	6
I.2.6. La conservation des plantes par rapport à la conservation des ressources zoogénétiques	6
I.2.7. Conservation <i>in vivo</i>	10
I.2.7.1. Renseignements généraux	10
I.2.7.2. Gestion génétique des populations.....	11
a. Petites populations et variation génétique.....	11
b. Sélection pour les races locales.....	12
I.2.7.3. Stratégies d'autogestion durable des races locales.....	12
a-Identification et promotion de produits de qualité	13
b-Services écologiques	13
c-Mesures d'incitation	14
I.3. Stratégies d'allocation des ressources dans le domaine de la conservation... ..	14
I.3.1. Méthodes d'établissement des priorités.....	14
I.3.2. Stratégies d'optimisation pour la planification des programmes de conservation.....	15
Conclusion	16
 Chapitre II: Le Séchage	
II.1. Définition	17
II.2. Objectifs.....	17
II.2.1. Exemple de produit.....	17
II.2.2. Séchage et stabilité du produit.....	18
II.3. Les milieux poreux	18
II.3.1. Répartition de l'eau dans les milieux poreux.....	19
II.3.2. Propriétés du milieu poreux	19
II.3.2.1. La porosité	19
II.3.2.2. La perméabilité	20

Sommaire

II.4. Caractéristiques des sondes humides	20
II.4.1. Humidité absolue	20
II.4.2. Humidité relative	20
II.5. Activité de l'eau dans les aliments.....	21
II.6. Comportement d'un solide mouillé en présence d'un gaz.....	21
II.7. Isotherme d'adsorption et de désorption.....	23
II.7.1. Modèles de représentation des courbes de sorption et désorption.....	24
II.8. Cinétique du séchage	25
II.8.1. Différentes périodes de la cinétique de séchage d'un produit humide	26
II.8.1.1. Période de mise en température (région a).....	26
II.8.1.2. Période à allure constante (région b).....	27
II.8.1.3. Période de ralentissement (région c)	27
II.9. Classification des systèmes de séchage à énergie solaire	28
II.9.1. Séchoir solaire passif ou à convection naturelle.....	28
II.9.2. Séchoir solaire actif ou à convection forcée.....	29
II.9.3. Séchoir solaire direct.....	30
II.9.4. Séchoir solaire indirect	30
II.9.5. Les séchoirs solaires mixtes	31
II.9.6. Séchoirs solaires hybrides	31
II.10. Mode de transfert de chaleur et de masse au cours du séchage	32
II.11. Description et formulation mathématique du séchage.....	33
II.12. Description et modélisation du caisson de dessiccation.....	33
II.13. Hypothèses simplificatrices	34
II.14. Equations du modèle.....	35
II.15. Détermination des coefficients d'échange.....	35
a) Par conduction.....	35
b) Par rayonnement.....	35
c) Par convection.....	36

Sommaire

II.15.1. Méthode de résolution.....	37
II.16. Démarche à suivre pour bien mener une opération de séchage solaire	37
II.16.1. Détermination des contraintes du produit	37
II.16.2. Caractéristiques du site.....	38
II.16.2.1. Facteurs climatiques	38
II.16.2.2. Facteurs humains.....	39
II.16.3. Réalisation du séchoir	39
a- choix du type de séchoir	39
II.17. Modèle de séchage en couche mince.....	40
Conclusion.....	42
Chapitre III: Avantage et Inconvénients de la congélation	
III.1. Définition.....	43
III.2. Généralités	43
III.3. Terminologie.....	44
III.4. Cristallisation de Léau.....	44
III.5. Action de la température sur les micro-organismes	45
III.6. Règles pratiques pour optimiser la congélation	47
III.7. La cellule de surgélation rapide	48
III.8. Avantage et Inconvénients de la congélation	49
a. La congélation.....	49
b. Stérilisation.....	49
c. Fermentation	50
d. Fumage	50
e. Conservation avec du sucre.....	51
f. Conservation avec des produits chimiques	51
Conclusion.....	52

Sommaire

Chapitre IV: Partie Expérimentale

IV.3 Diffinition.....	53
IV.4 MATERIELS.....	53
IV.4.1 Matériels biologiques (viande)	53
IV.4.2 Matériel de laboratoire	53
a. kaddid.....	54
b. Pour les analyses biochimiques, les matériels suivant ont été utilisés	54
c. Pour les analyses microbiologiques, nous avons fait recours aux matériels ci-après.....	55
IV.5 METHODES.....	55
IV.5.1. Préparation de l'échantillon.....	55
IV.5.2 .SECHAGE SOLAIRE DE LA VIANDE.....	56
IV.5.3. les analyses des produits finis (viande séché).....	56
IV.5.3.1. Analyse sensorielle.....	56
IV.5.3.2. Les analyses physico-chimiques	57
a.1. Détermination de la teneur en eau (NFV03-921).....	57
a.2. Principe	57
a.3. Mode opératoire.....	57
b. Détermination de la teneur en matière grasse (NFENISO 734-1, 2000).....	58
b.1. Principe.....	58
b.2. Mode opératoire	58
b.3. Expression des résultats	59
c. Teneur en cendres (AFNORV03-922)....	59
c.1. Principe	59
c.2. Expression des résultats	60
d. Détermination de la teneur en sucres	60

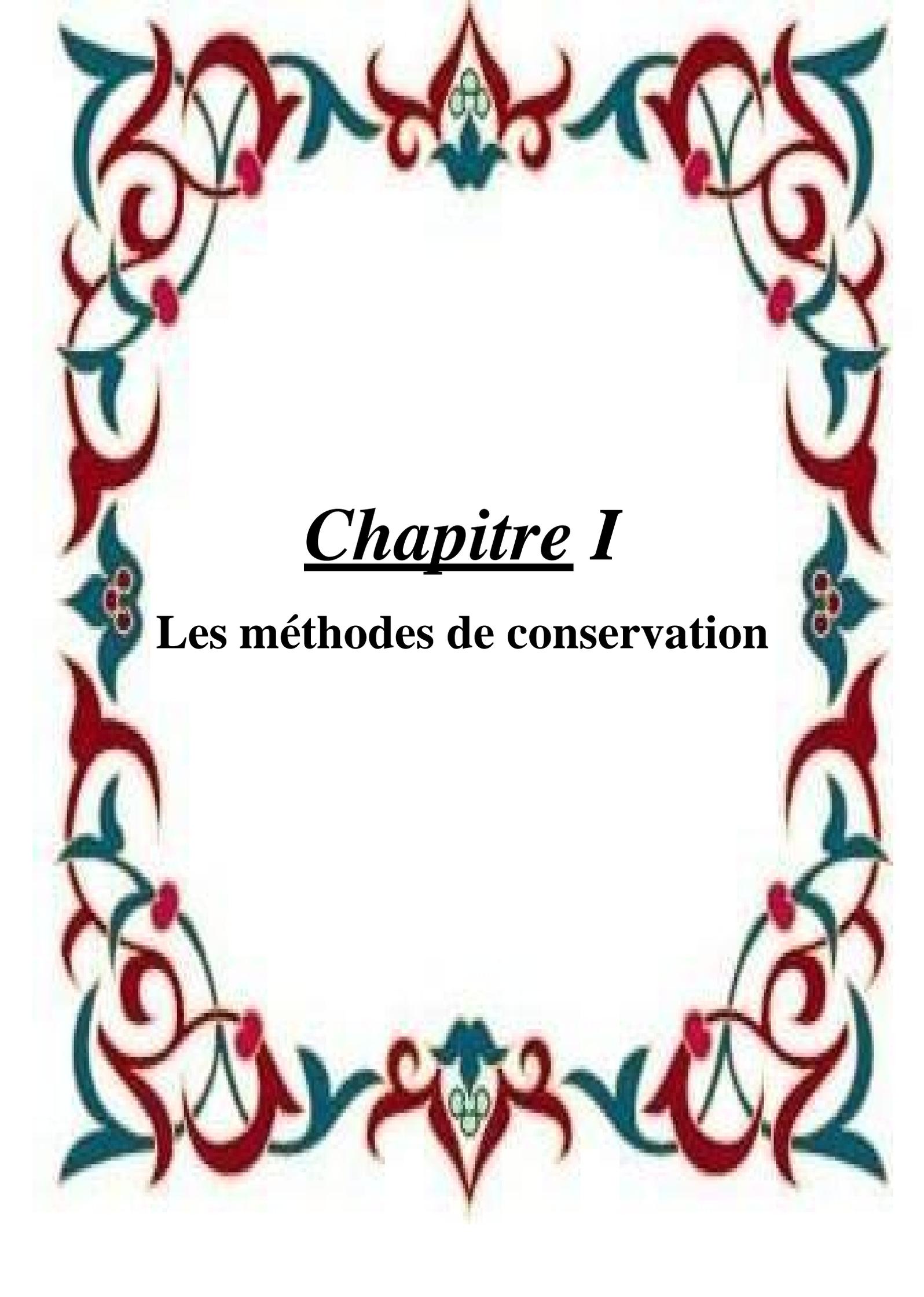
Sommaire

d.1. Principe	60
d.2. Mode opération.....	60
d.2.1. Préparation de l'échantillon.....	60
d.2.2. Filtration.....	60
d.2.3. 2 ^{ème} filtration	61
d.2.4. le dosage.....	61
e. La teneur en protéines brutes (AFNORV18-100).....	61
e.1. Principe	61
e.2. Mode Opérateur.....	61
e.3. Expression des résultats	62
f. Détermination du Potentiel d'hydrogène	63
IV.6 Analyses microbiologiques.....	63
IV.6.1 Préparation des échantillons	63
IV.6.2 Dénombrement de la flore mésophile aérobie totale FMAT (NM 0.8.121,2004)....	64
IV.6.3 Dénombrement des coliformes totaux et fécaux.....	65
IV.6.4 Dénombrement de Staphylococcus aureus (NM ISO 6888, 2004).....	66
Résultats et Discussion	
IV.7. Cinétique de la séchage	67
IV.8. Les résultats d'analyses physico-chimiques	68
IV.8.1. Détermination de la H% (V.Fet V.S et V.C)....	68
IV.8.2. Détermination de la MS% en (V.Fet V.S et V.C)	69
IV.8.3. Détermination de la MO% en (V.Fet V.S et V.C).....	70
IV.8.4. Détermination de la MM% en (V.Fet V.S et V.C)	71
IV.8.5. Détermination de la MG% en(V.Fet V.S et V.C)	72
IV.8.6. Détermination de la teneur de sucre% en(V.Fet V.S et V.C)....	72
IV.8.7. Détermination de la L'acidité en(V.F et V.S et V.C)....	73

Sommaire

IV.9. Les résultats d'analyse microbiologie de la viande agneau.....	74
Conclusion.....	76
Conclusion générale.....	77
Référence.....	78

L'homme a toujours cherché des moyens de conserver les denrées alimentaires pour assurer sa survie en période de disette. Aux premières et simples méthodes de conservation (le séchage). Ont succédé les techniques de salaison. La conservation par le sucre (les confitures) et la fermentation (viande).au siècle dernier sont apparues la conservation par la chaleur et plus récemment par le froid avec le développement des installations frigorifiques. Ces différents procédés ont chacun leurs avantages en termes de praticité et de qualité nutritionnelle [1].

A decorative border surrounds the text, featuring stylized red and teal floral motifs with small pink flowers and green leaves.

Chapitre I

Les méthodes de conservation

I. Définition

La préservation est définie comme une méthode utilisée pour préserver un état d'une substance de tout changement possible pouvant être causé par des facteurs [2] :

- chimiques (oxydation),
- physiques (température, lumière)
- biologiques (microorganismes)

I.1. Objectifs de la conservation des aliments

- Stocker les aliments.
- Stabiliser un aliment périssable en détruisant ou en inhibant les micro-organismes.
- Allonger la durée de vie des produits alimentaires
- Eviter d'éventuelles intoxications alimentaires.
- Conserver les propriétés gustatives et nutritive

I.2. Différentes techniques de conservation :

I.2.1. Le froid:

La méthode la plus courante est l'utilisation du froid pour conserver la viande [3].

Les basses températures retardent le développement des micro-organismes, les réactions chimiques et enzymatiques qui entraînent la détérioration du produit [4].

Les enzymes et les réactions chimiques sont considérablement ralenties à des températures basses (<5°C)

La plupart des micro-organismes ne sont plus capables de se métaboliser à des températures inférieures à -5 °C et même certains, comme les bactéries coliformes, sont inactivés [5] .

On distingue deux procédés qui utilisent cette technique, la réfrigération et la congélation [1].

a. Réfrigération :

La réfrigération consiste à entreposer les aliments à une température basse, proche du point de congélation 0°C, mais toujours positive par rapport à celui-ci.

A ces températures, la vitesse de développement des microorganismes contenus dans les aliments est ralentie

Elle est utilisée pour la conservation des aliments périssables à court et moyen terme (de quelques jours à plusieurs semaines) suivant le produit, la température, l'humidité relative et le type de conditionnement [3].

La réfrigération doit être faite le plus tôt possible après collecte, elle doit s'appliquer à des aliments initialement sains et être continue tout au long de la filière de distribution.

b. Congélation :

La congélation consiste à entreposer les aliments à des températures inférieures au point de congélation, généralement -18°C.

Elle est utilisée pour la conservation des aliments à long terme (4 à 24 mois)

L'activité métabolique de la plupart des agents pathogènes et de la détérioration est inhibée pendant la congélation. Les plus importantes de ces réactions sont appelées oxydation enzymatique des graisses et hydrolyse des glucides. Pour y remédier, les fabricants ont généralement recours à des produits de blanchiment (dans le cas des légumes surgelés) avant la congélation [6].

I.2.2. Traitement par la température élevé

a. Pasteurisation : est un traitement thermique doux qui détruit un grand nombre de microorganismes d'altération causant des maladies

La température du traitement est généralement inférieure à 100°C (de 65 à 100°C) et la durée est de quelques secondes à quelques minutes.

Tous les microorganismes n'étant pas éliminés par la pasteurisation, ce traitement thermique doit être suivi d'un brusque refroidissement.

Les aliments pasteurisés sont alors habituellement conservés au froid (+4 °C) afin de ralentir le développement des germes encore présents. Leur durée de conservation est ainsi limitée [7].

- b. Stérilisation :** il s'agit d'un traitement thermique qui vise à détruire les microbes vivants et nécessite des températures supérieures à 100°C, à travers les quelles une stérilisation biologique peut avoir lieu de manière optimale [8].

Deux techniques sont possibles :

-**Classique :** 115° C pendant 15 à 20 minutes. (Perte de 30% des vitamines)

-**Ultra Haute Température :** 140° C pendant quelques secondes (perte de 10% des vitamines, meilleur goût)

I.2.3. Réduction de l'activité de l'eau activité water (aw) :

L'activité de l'eau d'un aliment est réduite de deux manières différentes. La 1ere est directe par Séchage & La 2ème indirecte par ajout d'inhibiteurs.

a- Réduction de l'aw par déshydratation :

La viande est séchée par diverses techniques telles que le séchage au soleil, l'évaporation, le séchage a froid ou la congélation, ou il est permis de réduire l'activité de l'eau de l'aliment a des valeurs proches de Zéro et on écrit (0), consommation d'énergie.

b- Réduction de l'aw par ajout d'agents dépresseurs :

Les agents dépresseurs de l'activité de l'eau n'appartiennent à aucune famille chimique particulière.

L'activité de l'eau dépend de la nature et de la quantité des substances en solution dans la phase aqueuse de la denrée alimentaire.

Les dépresseurs de l'aw les plus utilisés en industrie agroalimentaire sont :les sels (**salage**), notamment les glucides (**sucrage**), notamment les mono- et disaccharides.

□

I.2.4. Méthodes chimique :

a- Additifs alimentaires :

a.1 : Les conservateurs :

Sont des substances qui limitent, ralentissent ou stoppent la croissance des microorganismes

(bactéries, levures, moisissures) présents ou entrant dans l'aliment et préviennent donc l'altération des produits ou les intoxications alimentaires.

Ils sont employés entre autres dans les aliments cuits, le vin, le fromage, les jus de fruits et les margarines.

a.2- Antioxydants :

Les antioxydants sont des molécules qui aident à protéger les aliments contre les réactions d'oxydation qui accélèrent le vieillissement.

Il peut s'agir d'altérations dues à l'oxygène de l'air, à la lumière, aux traces de métaux ou à certaines enzymes

Exemple : Les gallates sont ajoutés principalement aux huiles végétales et à la margarine pour les empêcher de rancir et pour préserver leur goût.

b-Acidification :

L'acidification consiste à ajouter un acide organique (comme l'acide acétique) ou un ingrédient acide (comme le citron) à un aliment qui est initialement peu acide.

Ils doivent être ajoutés dans des proportions bien déterminées pour que le pH du produit fini soit inférieur à 4,5.

c-Fumage:

Il consiste à soumettre une denrée alimentaire à l'action des composés gazeux qui se dégagent lors de la combustion de certains végétaux.

La fumaison peut se faire à froid (12-25°C) ou à chaud (50-85°C). Lorsqu'elle est réalisée à chaud, elle est associée à une dénaturation des protéines et une destruction des microorganismes

I.2.5. Autres techniques :

a-Maîtrise du potentiel d'oxydo-réduction:

L'effet oxydant d'un milieu est dû essentiellement à la présence de l'oxygène atmosphérique, soit en surface (viandes) ou dans la masse (végétaux : grâce aux parenchymes lacuneux et aux stomates).

Le potentiel d'oxydoréduction affecte la vitesse des réactions d'altération et le développement des microorganismes.

Pour la maîtrise du potentiel d'oxydoréduction d'un produit, plusieurs techniques sont utilisées dont les plus importantes sont : Le conditionnement sous vide, le conditionnement sous atmosphère modifiée et le conditionnement sous atmosphère contrôlée.

b-Radiations ionisantes:

Les radiations ionisantes sont appliquées aux aliments dont le but d'améliorer leur conservation.

Les aliments ayant subi un traitement aux radiations ionisantes sont dites « irradiés » mais ils ne sont nullement « radioactifs ».

L'irradiation des denrées alimentaires peut être réalisée par trois types de rayonnements ionisants :

Rayons X, Electrons accélérés et Rayons γ

La norme générale Codex pour les denrées alimentaires irradiées (CODEX STAN 106-1983, REV. 1-2003) précise que la dose maximale absorbée pour une denrée alimentaire ne doit pas être supérieure à 10 KGy .

c-Ferme notation:

La fermentation est définie comme l'utilisation contrôlée de microorganismes sélectionnés dans le but de préserver les aliments par production d'acides (pour la fermentation lactique) ou d'alcool (pour la fermentation alcoolique), et de modifier leurs caractéristiques organoleptiques [20].

I.2.6. La conservation des plantes par rapport à la conservation des ressources zoogénétiques :

L'organisation et la mise œuvre du processus d'évaluation de *L'état des ressources zoogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde* ont été fondées sur les enseignements tirés de l'évaluation mondiale des ressources phylogénétiques et du Rapport sur l'état des ressources phylogénétiques dans le monde qui en a découlé (FAO, 1998a). Par conséquent, le processus de *L'état des ressources zoogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde* s'est concentré sur la préparation du premier Rapport et la mise en place au niveau national d'actions découlant du processus de préparation des Rapports nationaux. Cependant, les approches en faveur de la conservation des ressources phylogénétiques ne peuvent pas s'appliquer directement aux ressources zoogénétiques.[9]

Dans les systèmes de production traditionnels, les ressources phylogénétiques et zoogénétiques sont utilisées de façon analogue. Les races et les variétés adaptées localement sont prédominantes ; les semences pour les plantations et les animaux proviennent des champs et des troupeaux des paysans et la diversité génétique des races primitives qui en sont issues est considérable. La

Plupart des activités de sélection et de mise en valeur sont «participatives» (FAO, 1998a) dans le sens où les décisions sur les semences pour sauvegarder les plantations et les animaux à conserver en sélection sont prises par les paysans plutôt que par des sélectionneurs professionnels de plantes et d'animaux. Cependant, l'intensification de l'agriculture a conduit à des changements importants dans les modèles d'utilisation et de développement des ressources génétiques. Pour les plantes, l'intensification de la production agricole a généralement été accompagnée par l'émergence d'un secteur de production des semences fortement institutionnalisé et centralisé, dominé par des centres nationaux et internationaux financés par les fonds publics, et des entreprises du secteur privé. En revanche, l'intensification du secteur de l'élevage est à présent moins avancée et a été un résultat, plutôt qu'une condition préalable, du développement économique. Le secteur de l'élevage est beaucoup moins centralisé et institutionnalisé que le secteur des semences pour les plantes, bien que le mouvement vers la centralisation soit considérable dans les secteurs des volailles, des porcs et, à un moindre niveau, des bovins laitiers. L'engagement direct des fermiers dans l'élevage reste considérable pour les autres secteurs et l'utilisation et le développement des ressources zoogénétiques restent fortement « participatifs » dans certains environnements de production. Les différentes structures des secteurs des semences et des collections de semences pour les plantes et pour les animaux ont des importantes implications pour la conservation des ressources génétiques mondiales.[10]

Le tableau I.1 : compare un certain nombre de facteurs biologiques, opérationnels et institutionnels qui influencent les activités de conservation pour les plantes et pour les animaux.

ACTEUR	PLANTES	ANIMAUX
Valeur économique de la Production par individu	Basse à très basse	Modérée à élevée
Taux de reproduction (nombre de descendants par individu par génération)	Elevé à très élevé (en milliers)	Très bas (<10) à modéré (<200) à l'exception des mâles des espèces (surtout les bovins) où l'usage répandu d'insémination artificielle est faisable (en dizaines de milliers)
Intervalle de génération	0,25 à 1 an	1 à 8 ans

Diversité génétique dans la lignée	Très limitée dans la plupart des variétés des plantes	Très considérable dans la plupart des races d'animaux d'élevage
Coût pour enregistrer la performance d'un individu ou d'une famille	Très bas à bas	Elevé à très élevé
Coût pour évaluer l'adaptation ou la résistance aux maladies d'un individu ou d'une famille Capacité de conserver la diversité des espèces sauvages apparentées dans des conditions naturelles	Très bas à modéré Commune pour les plantes	Très élevé Rare pour les espèces animales
Capacité de s'autofertiliser et de développer des lignées consanguines	Possible et de routine dans de nombreuses espèces	L'autofertilisation n'est pas possible; à cause de la dépression, il faut éviter de hauts niveaux de consanguinité; dans des cas spécifiques, les lignées consanguines sont utilisées pour les croisements
Propagation clonale	Possible et de routine pour de nombreuses espèces	Techniquement faisable, mais trop inefficace même pour la recherche
Capacité à collecter le matériel génétique Capacité à stocker le matériel génétique in vitro	Simple dans la plupart des cas Le stockage des semences au frais est faisable chez la plupart des espèces; quelques espèces nécessitent une culture tissulaire; dans certains cas, le stockage dans l'azote liquide est possible	Techniquement faisable, mais il faut des installations et du personnel qualifié Faisable pour les gamètes mâles de la plupart des espèces et pour les gamètes femelles de certaines espèces; le stockage des embryons est faisable chez la plupart des espèces de mammifères, mais à un coût beaucoup plus élevé par rapport aux spermatozoïdes; tout le

		matériel biologique doit être stocké dans l'azote liquide
Exigences pour la régénération du matériel stocké	La plupart des espèces requièrent une restauration périodique pour régénérer le matériel stocké et maintenir la viabilité	Essentiellement stockage permanent
Coût d'extraction, de régénération et de testage du matériel d'une banque de gènes	Relativement facile à des ;coûts relativement faibles dizaines de milliers d'obtentions sont extraites et testées chaque année	La régénération et le testage ;sont difficiles et longs peu d'expérience dans l'extraction et l'utilisation du matériel stocké
Statut et champ d'application des banques de gènes	Les grandes collections de plusieurs localités dans le monde incluent des millions d'obtentions pour des centaines d'espèces impliquant surtout le stockage des semences à des coûts de collecte et de stockage relativement faibles	Limité à un petit nombre de pays développés, impliquant surtout le sperme congelé
Collecte continue de matériel génétique sauvage et indigène	Niveaux plus faibles par le passé, mais encore un effort significatif surtout pour les espèces négligées	Très peu d'activité, surtout dans les pays en développement
Soutien institutionnel pour la conservation	Substantiel, bien organisé et stable	Limité, souvent peu organisé, à l'exception de quelque pays développés

. Cependant, la différence la plus significative entre les secteurs des cultures et de l'élevage est la capacité institutionnelle à gérer les ressources génétiques. De nombreuses institutions du secteur des semences maintiennent déjà de grandes collections de ressources phylogénétiques et contribuent activement au développement et à la mise en commerce des variétés végétales. Les bases de données du Système mondial d'information et d'alerte rapide sur les ressources phylogénétiques (WIEWS) enregistrent la localisation de plus de 5,5 millions'

Obtentions de ressources phylogénétiques, dans environ 1 410 collections *ex situ* de par le monde (FAO, 2004). [2]

L'établissement d'une banque de gènes pour animaux implique un stockage à long terme des gamètes, des embryons ou des cellules somatiques dans l'azote liquide. Les aspects techniques d'une telle conservation *in vitro* pour les animaux sont présentés en détail ci-dessous, mais les coûts nécessaires pour collecter, cryoconserver puis reconstituer le matériel génétique des animaux sont beaucoup plus élevés, par génome préservé, que les coûts nécessaires pour collecter, stocker puis utiliser les semences. De plus, les financements en faveur de la conservation du matériel génétique des animaux sont insuffisants. Par conséquent, la conservation des ressources zoogénétiques a été beaucoup plus concentrée sur les approches *in situ*. Cependant, à l'exception d'un petit nombre de pays développés, les actions mises en place en faveur de l'établissement de programmes de conservation *in situ* ont été rares et la durabilité à long terme de ces plans reste aléatoire [8].

Conservation *in vivo*:

Le terme « conservation *in vivo* » décrit la conservation d'animaux vivants et englobe les méthodes de conservation *in situ* et *ex situ in vivo*[11].

I.2.6.1. Renseignements généraux:

La conservation des ressources zoogénétiques a lieu dans plusieurs contextes différents et change selon les espèces, les races, les régions géographiques et les systèmes agricoles, sociaux et économiques. La conservation a également une grande variété d'objectifs. L'accent peut être placé sur la conservation des ressources génétiques ou de la diversité en tant que telle; sur les services pour l'environnement par lesquels les animaux d'élevage contribuent à la conservation d'un écosystème plus étendu; sur les conséquences socio-économiques de la conservation; ou sur l'importance culturelle attachée à la maintenance de races particulières d'animaux d'élevage. Les approches de la conservation des ressources zoogénétiques peuvent être très différentes dans leur capacité à atteindre les différents objectifs de conservation et dans leur aptitude à s'appliquer aux différents contextes [12].

Il est possible de considérer les techniques de conservation *in vivo* comme étant un ensemble de différentes approches dont la partie *in situ* recouvre à son extrême le maintien des races au sein de leurs systèmes de production originaires, alors que l'approche opposée *ex situ in vivo* vise à maintenir les races dans des jardins zoologiques. Entre ces deux extrêmes, on trouve : le maintien

des espèces dans des exploitations mais en dehors de l'environnement dans lequel elles ont évolué; la maintenance d'un nombre limité d'animaux dans des exploitations spécifiques de conservation, au sein de troupeaux expérimentaux ou destinés à l'enseignement; et l'élevage de races pour la gestion des pâturages ou du paysage en zones protégées. La diversité des mesures disponibles pour la conservation étant très large, il est parfois difficile de faire une distinction nette entre les approches *in situ* et *ex situ in vivo*. Par exemple, on peut considérer que les stations gouvernementales appliquent des méthodes de conservation *in situ* ou *ex situ in vivo* selon le lieu et les pratiques habituelles d'élevage [13].

Il n'existe aucune formule spéciale pour réussir un programme de conservation. De nombreuses formes de conservation des races ont été mises en œuvre, surtout à partir des années 80. Cependant, presque aucune tentative n'a été entreprise pour analyser de façon adéquate les facteurs sous-jacents au succès ou à l'échec des programmes de conservation *in vivo*. De telles analyses ont été également freinées par la disponibilité limitée des données [12][14]

I.2.6.2. Gestion génétique des populations

Oldenbroek (1999) fournit des informations détaillées sur les nombreuses exigences requises pour la gestion génétique des populations [15].

a. Petites populations et variation génétique

Chaque fois que les races sont conservées *in vivo*, qu'il s'agisse de conservation *in situ* ou *ex situ*, il faudrait les gérer de façon à maintenir leur variation génétique dans le long terme. Il est bien établi qu'une taille limitée de population peut avoir pour résultat la perte de la diversité allélique et une hausse de la consanguinité. Le maintien d'une taille suffisante de population est un point fondamental de la gestion de la race à long terme. En plus d'augmenter le nombre d'animaux de la population, les techniques de gestion visant à maintenir la diversité génétique incluent le maintien d'un sex ratio équilibré parce que, même si le nombre des femelles d'une population est élevé, les programmes de sélection intensive peuvent considérablement réduire le nombre des mâles reproducteurs, ce qui peut entraîner de fait une dimension de population réduite et des augmentations conséquentes de la consanguinité. Une autre méthode consiste à minimiser la variance des nombres des descendants produits par les reproducteurs, ce qui réduit la relation moyenne entre les animaux destinés à la reproduction de la génération suivante [11].

La population devrait être assez grande pour permettre la sélection naturelle si l'on veut éliminer les mutations néfastes pouvant s'accumuler dans la population à cause de la dérive génétique.

Il est important de savoir que, pour la gestion des petites populations, il existe une grandeur limite aux effectifs d'une population au-dessous de laquelle la population diminue régulièrement. Selon les estimations les plus récentes des taux de mutation, cette grandeur limite de la population est comprise entre 50 et 100. La taille minimale de population nécessaire sera donc supérieure à 50. [13].

b. Sélection pour les races locales

Les races sont dynamiques car elles sont soumises à des changements génétiques continus en réponse aux facteurs environnementaux et à la sélection des éleveurs. Les races indigènes des pays en développement sont rarement soumises aux techniques modernes de sélection. Cependant, les programmes de sélection peuvent accroître la fréquence des gènes désirables pour la productivité et la rentabilité des races locales. De telles mesures seront sans doute nécessaires si les races locales continuent de représenter des moyens d'existence viables pour les fermiers qui les élèvent. Les programmes de sélection doivent prendre en considération le maintien de la variation génétique interrassiale et les risques associés aux taux élevés de consanguinité. Les caractères à sélectionner doivent être enregistrés avec exactitude et les réponses les plus satisfaisantes à la sélection résultent de l'utilisation des estimations génétiques statistiques de la valeur génétique. La sélection contrôlée, basée sur les estimations de la valeur génétique, donne des taux de consanguinité deux à quatre fois supérieurs aux taux obtenus par la sélection aléatoire des parents. Cependant, des techniques ont été élaborées pour optimiser la sélection et atteindre un équilibre acceptable entre consanguinité et amélioration génétique [1].

I.2.6.3. Stratégies d'autogestion durable des races locales

La durabilité d'une race donnée est dépendante de différents facteurs comme les changements culturels, sociaux et de la demande alimentaire ; la transformation de la chaîne alimentaire; les changements des politiques et des cadres légaux nationaux et internationaux pour les importations de matériel génétique et de produits des animaux d'élevage; le développement économique; et les changements technologiques. Dans la plupart des cas, c'est la combinaison des changements au sein des systèmes de production avec le manque de rentabilité économique qui joue le rôle majeur dans le déclin d'une race. On se pose alors la question : quelles sont les alternatives permettant d'arrêter et d'inverser le processus de déclin d'une race? Les options possibles pour atteindre une autogestion durable sont décrites ci-dessous [5].

a- Identification et promotion de produits de qualité

De nombreuses races locales peuvent fournir des produits uniques de qualité supérieure aux produits obtenus par les races commerciales à haut rendement. Les races locales et leurs produits peuvent également être valorisés en tant que représentants des systèmes agricoles traditionnels. De plus, de nombreuses races locales ont joué pendant longtemps un rôle clé dans la vie sociale et culturelle des populations rurales – y compris les traditions religieuses et civiques, le folklore, la gastronomie, les produits spécialisés et l'artisanat [16].

Potentiellement, ces caractéristiques peuvent être la base d'une production d'élevage diversifiée et d'une plus grande rentabilité des races locales. Les objectifs de conservation ont été favorisés par des subventions directes (voir ci-dessous) et par la promotion de produits de spécialité à forte valeur ajoutée. Cette dernière approche a connu un succès particulier dans les régions méditerranéennes où la diversité des races des systèmes de production est encore associée à la variété des produits d'origine animale, des préférences alimentaires et des traditions culturelles. Malheureusement, il est probable que la plupart de ces associations qui existaient encore au milieu du XIXe siècle dans cette partie de la planète est à présent perdue. Cette stratégie est aujourd'hui soutenue par les systèmes européens de certification des produits agricoles, comme l'AOP (appellation d'origine protégée) et l'IGP (indication géographique protégée) et également par le développement de marques commerciales spécifiques [6].

b-Services écologiques

Les races adaptées aux conditions locales de production sont souvent les mieux placées pour fournir des services en faveur de l'environnement, comme la gestion du paysage et la stimulation de la croissance d'une végétation spécifique, le contrôle des incendies et des avalanches, et le nettoyage des broussailles des lignes électriques et des couloirs de passages des animaux sauvages (réduisant ainsi l'utilisation des herbicides). Même dans les économies moins développées, on peut soutenir plusieurs races importantes du point de vue culturel par le biais du tourisme écologique et culturel, ou d'autres approches novatrices consacrées à la génération de revenus pour les éleveurs. Par exemple, l'utilisation des bovins locaux pour maintenir les écosystèmes qui favorisent l'accroissement de la densité et de la diversité d'animaux dans les parcs d'animaux sauvages. Il est cependant difficile de réussir à transformer ces services en retombées économiques pour les éleveurs [17].

c-Mesures d'incitation

Le manque de rentabilité liée aux races et, par conséquent, le manque de popularité auprès des fermiers participent souvent au déclin des effectifs d'une population raciale. Une approche possible pour la conservation est d'offrir aux éleveurs des incitations financières pour compenser les pertes de revenu entraînées par l'élevage d'une race moins rentable. Cette approche est possible uniquement si les ressources sont suffisantes et la volonté politique prête à dépenser des fonds publics pour satisfaire des objectifs de conservation ; si la caractérisation des races permet d'identifier et de classer les populations de races selon leur niveau de risque à disparaître ; [18].

I.3.Stratégies d'allocation des ressources dans le domaine de la conservation :

I.3.1. Méthodes d'établissement des priorités

La définition claire des objectifs est cruciale pour toutes les activités de conservation. Un critère souvent considéré important concerne la préservation de la diversité génétique. Cependant, la conservation de toute la diversité possible est rarement le seul objectif. D'autres facteurs, comme la conservation de certains caractères spéciaux (par ex. la tolérance aux maladies) et certaines valeurs écologiques ou culturelles des races doivent également être prises en considération. L'objectif est par conséquent de maximiser l'utilité d'un ensemble de races, l'utilité étant une combinaison pondérée de mesures de diversité et d'autres caractères et valeurs. La définition des pondérations exige l'évaluation de la diversité liée aux autres critères pris en compte. [19]

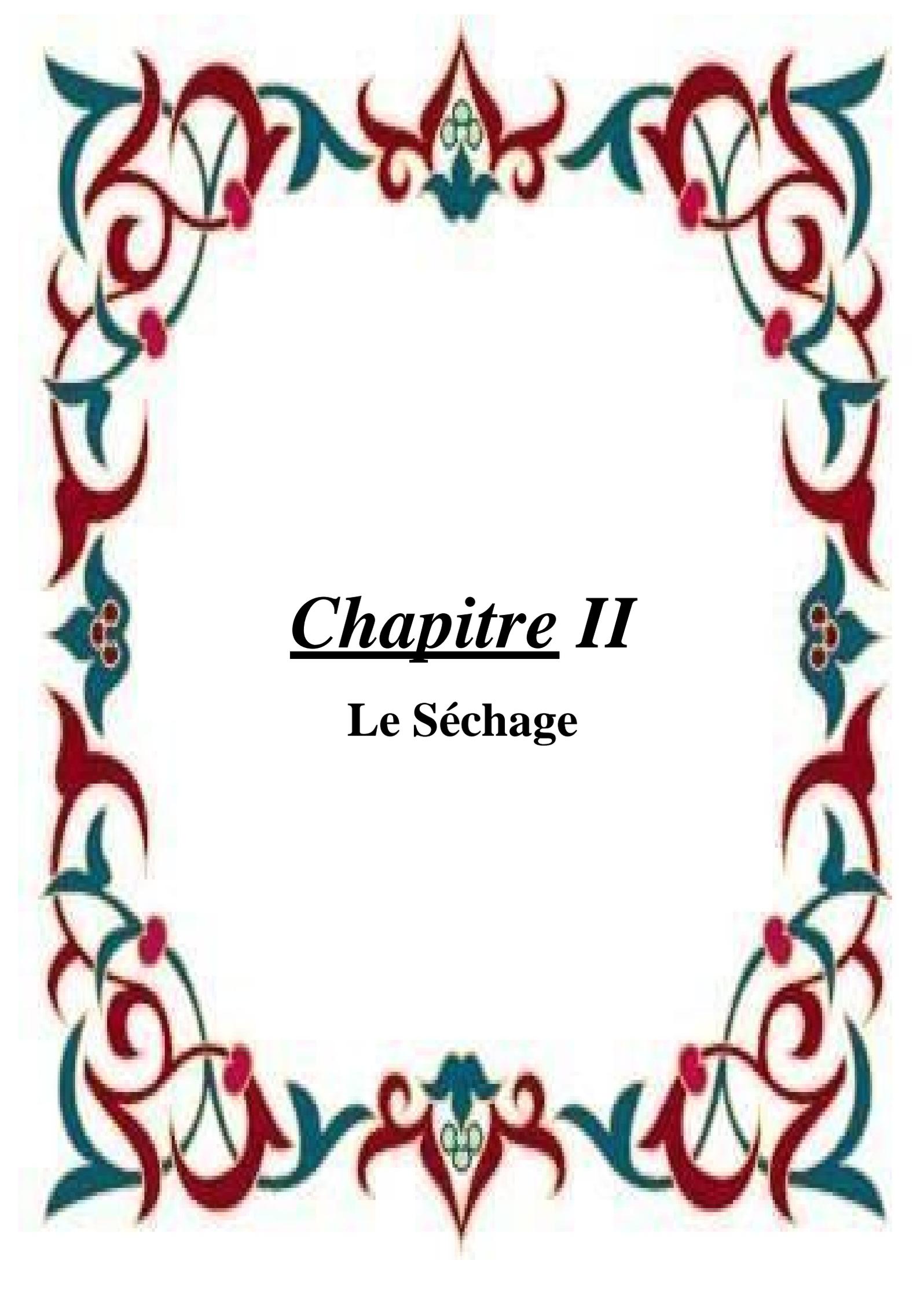
Différentes méthodes visant à combiner les différents critères ont été proposés pour établir les races prioritaires qu'il faudra cibler pour les programmes de conservation. par exemple, a proposé une méthode dans laquelle un groupe d'experts identifient les priorités raciales au niveau national. Les sept critères suivants sont inclus dans le cadre [20].

I.3.2. Stratégies d'optimisation pour la planification des programmes de conservation

Les programmes efficaces de conservation devraient faire appel aux ressources financières et non financières disponibles pour maximiser l'objectif de conservation. Les questions auxquelles il faut alors répondre sont on mettre en œuvre pour toute race retenue? Si l'on part du principe que l'objectif des mesures de conservation prises en compte est de conserver la plus grande diversité génétique possible entre races, la méthode suivante peut alors être utilisée pour identifier les races prioritaires [21][3].

Conclusion:

Les traditions et les valeurs culturelles sont des moteurs importants pour la conservation dans les sociétés occidentales et sont également de plus en plus essentielles dans certains pays en développement. Une autre motivation forte, partagée par de nombreux acteurs, est la sauvegarde d'une diversité aussi large que possible pour un avenir imprévisible.[22]

A decorative border with a repeating pattern of stylized red and teal floral and leaf motifs, framing the central text.

Chapitre II

Le Séchage

II.1. Définition de séchage

Par définition ; le séchage est l'opération qui permet l'enlèvement d'une plus ou moins grande partie d'un solvant présent dans un matériau ; ce solvant est généralement de l'eau. Le séchage permet de traiter certains problèmes d'environnement, comme c'est le cas par exemple du séchage des déchets. Il permet aussi d'envisager certaines solutions concernant la conservation des denrées et stockage [5].

II.2. Objectifs

Souvent des processus complets de séchage, d'évaporation, ou d'élimination, ou de filtration, ou de déshydratation, sont utilisés dans de nombreux cas [3] :

- l'humidité résiduelle est incompatible avec la suite du procédé.
- le produit humide se conserve mal (hydrolyse possible, modification de l'aspect physique par agglomération des grains).
- le coût du transport est plus élevé en présence d'eau.
- le séchage permet outre l'élimination d'eau, la création de modifications de la structure interne du solide comme par exemple l'apparition d'une structure poreuse[23].

A cause du coût énergétique élevé du séchage, l'industriel cherche à avoir la plus basse teneur possible en eau à l'entrée du sécheur. La tendance est à n'utiliser le séchage que lorsque les procédés de séparation mécanique restent impuissants pour atteindre l'humidité résiduelle souhaitée. Le séchage des liquides est toujours précédé d'une autre opération de déshydratation moins couteuse en énergie : l'évapore-concentration[24] .

II.2.1. Exemple de produit

L'éclaircissage peut être une étape nécessaire dans la fabrication du produit ou un rôle dans la conservation des aliments, car .Une grande partie des aliments que nous consommons ont subi, le processus de séchage[25] :

- les pâtes alimentaires
- la charcuterie : saucisson, jambon...
- les fromages : séchage dans une ambiance contrôlée
- les légumes (pois,...) et fruits secs (pruneaux, raisins, abricots...)

- certains biscuits apéritifs sont produits par séchage à l'air chaud à partir d'une pâte de maïs
- le sel (gisement minier) est concassé, dissout, épuré avant d'être essoré et enfin séché jusqu'à devenir du sel raffiné.
- la conservation de beaucoup de types de grains ou de végétaux est assurée par le séchage : café, cacao, riz et autres céréales, feuilles de thé, épices...
- Certains produits liquides : lait, lactosérum...
- des coproduits de l'industrie alimentaire souvent destinés à l'alimentation du bétail, ou l'industrie chimique (additifs...) : pulpe de betterave (sucrierie), tourteaux d'oléagineux (huilerie), drèches (brasserie, jus de pomme)

II.2.2. Séchage et stabilité du produit :

• **Le séchage est souvent utilisé pour allonger la durée de vie du produit** ; en effet en même temps qu'on diminue l'humidité résiduelle du produit, on diminue l'eau libre disponible pour les réactions d'altération, c'est-à-dire l'activité de l'eau (a_w) qui diminue en dessous de l'activité minimale de développement des microorganismes (c'est-à-dire $a_w < 0.7$) ; il faut néanmoins souvent descendre à des a_w beaucoup plus faibles afin d'inhiber les réactions d'altération d'origine chimique et enzymatique (oxydation des lipides, réactions de Maillards,... [26])

Tableau I.2: Valeur minimal de l'activité de l'eau permettant la croissance des principaux types de micro-organismes.

Micro-organisme	a_w minimale
Bactéries	0.910
Levures	0.87
Moisissures	0.70

II.3. Les milieux poreux

On appelle milieu poreux un solide de forme compliquée délimitant et englobant des vides appelés pores. Ces vides peuvent communiquer entre eux et contenir une ou plusieurs phases fluides, la partie solide encore matrice se présente sous deux formes[27]:

Non consolidée : La matrice solide est alors formée de grains ou fibres non soudés entre eux (graviers, sable,...).

Consolidée : Dans ce cas, la matrice solide compacte ne peut pas se diviser en grains ou fibres (roche, tissus végétaux et animaux).

Dans les conditions naturelles, le volume poreux est généralement occupé par une phase gazeuse (mélange air + vapeur d'eau) et de l'eau liquide[28] .

II.3.1. Répartition de l'eau dans les milieux poreux

L'eau présente dans un matériau peut se présenter sous trois états : eau libre (eau capillaire), eau liée (eau adsorbée) et vapeur d'eau [29].

L'eau libre remplit la majeure partie des vides de la structure, elle est piégée sous forme liquide par des forces d'origine capillaire.

L'eau liée est adsorbée sur et dans les parois des structures grâce aux propriétés hydrophiles de leurs constituants. Elle est aussi liée à la taille des pores qui indique la proportion eau liée eau libre dans le matériau (un produit constitué de "petits pores" aura, à l'échelle macroscopique, un caractère hygroscopique plus marqué que s'il était constitué de "gros pores"[30].

La vapeur d'eau mélangée à l'air sec (mélange parfait) occupe les espaces vides non saturés d'eau liquide.

II.3.2. Propriétés du milieu poreux

II.3.2.1. La porosité

La porosité totale est le rapport entre le volume des vides et le volume total du milieu poreux :

$$\varepsilon = \text{volume des vides} / \text{volume total}$$

Une partie de l'eau contenue dans le milieu est liée à celui-ci. Elle ne peut pas circuler. D'un point de vue hydrodynamique, elle peut être considérée comme une partie du solide, Cela nous conduit à définir une porosité cinématique ou porosité efficace, ε_c , liée à la circulation des fluides donc la porosité efficace est le rapport du volume d'eau mobile, par opposition à l'eau liée à la matrice par des forces d'attraction moléculaire, qu'un milieu poreux peut contenir à son volume total [31].

$$\varepsilon_c = \text{volume d'eau mobile} / \text{volume total}$$

II.3.2.2. La perméabilité

La perméabilité intrinsèque $k[L^2]$ est une propriété intrinsèque du milieu poreux, indépendamment des caractéristiques du fluide. Il caractérise l'aptitude d'un milieu à se laisser traverser par un fluide sou l'effet d'un gradient de charge, elle est donnée par[32]:

$$K = (\varphi \cdot \mu) / (\Delta p / \Delta X)$$

Avec:

φ : Débit du fluide $[L^3 \cdot T^{-1}]$.

μ : La viscosité dynamique du fluide $[M L^{-1} T^{-1}]$.

S: L'aire de la section traversée par le fluide $[L^2]$.

$\Delta P / \Delta x$: La variation de la charge par l'unité de longueur $[ML^{-2} T^{-2}]$.

Le coefficient de perméabilité $K [L/T]$ (ou la conductivité hydraulique) est le paramètre reliant la vitesse d'écoulement au gradient hydraulique dans la loi de Darcy. Elle dépend de la perméabilité intrinsèque k mais aussi de la viscosité dynamique $\mu [M L^{-1} T^{-1}]$ et de la masse volumique du fluide $\rho [M L^{-3}]$ qui circule [33] :

$$K = k \rho g / \mu$$

II.4. Caractéristiques des solides humides

II.4.1. Humidité absolue

L'humidité absolue d'un solide appelée aussi teneur en eau ou humidité à base sèche s'exprime par la masse de liquide contenue dans le produit par rapport à sa masse sèche. [34]

$$X = Mh - Ms / Ms$$

II.4.2. Humidité relative

L'humidité relative d'un solide appelée aussi titre en eau, ou bien teneur en eau à base humide s'exprime par la masse du liquide contenue dans le produit par rapport à sa masse humide [35] .

$$\varphi = Mh - Ms / Mh$$

II.5. Activité de l'eau dans les aliments

L'activité de l'eau A_W est une grandeur classique, utilisée pour évaluer la capacité avec laquelle un produit dans une atmosphère donnée se dégrade d'un point de vue biologique. Elle correspond au rapport entre la pression de la vapeur d'eau de l'aliment (pression de la vapeur d'eau à la surface du produit) et la pression de la vapeur d'eau pure à la même température T_0 . [36].

$$A_W = (\text{pression partielle de l'eau dans l'aliment à } T_0) / (\text{pression partielle de l'eau pure à } T_0)$$

L'activité de l'eau dans un produit représente aussi l'humidité relative d'un air en équilibre avec le produit (lorsqu'il n'y a plus d'échange d'eau entre eux). [37]

La valeur de l'activité de l'eau varie entre 0 (produit sec au point que toute l'eau est liée à l'aliment, et donc sans qualité réactive) et 1 (eau pure et sans soluté, difficile à atteindre et surtout à maintenir). La valeur optimale pour la conservation des produits biologiques, sans additif ni réfrigération, correspond à une activité de l'eau située entre 0.25 et 0.35; la croissance des bactéries est généralement limitée lorsque l'activité de l'eau descend en dessous de 0.90 de même les moisissures et les levures sont inhibées respectivement vers une activité de 0.70 et 0.80. [38].

II.6. Comportement d'un solide mouillé en présence d'un gaz

Considérons un solide mouillé, d'humidité X , soumis à l'action d'un courant gazeux constant, renfermant sous forme vapeur, une certaine quantité du liquide associé au solide.

Sous pression constante, et à une température déterminée, le mélange gazeux est caractérisé par son humidité relative ϕ qui est le quotient de la pression partielle P_V de la vapeur dans le mélange à la même température T par la pression de saturation P_S . [39]

Si la tension de vapeur P_m (pression de vapeur à la surface mouillée) du liquide associé au solide est différente de P_V il s'établit entre deux phases en présence, un transfert de matière tendant vers un état d'équilibre qui est atteint lorsque $P_V = P_m$.

* Si $P_V > P_m$ ce transfert d'humidité s'effectue de l'atmosphère gazeuse vers le solide et correspond à un phénomène d'adsorption, c'est-à-dire à un mouillage du solide. [40]

* Si $P_V < P_m$ le transfert de matière s'effectue du solide vers les phases gazeuses et correspond à une désorption, c'est-à-dire à un séchage du solide.

Lorsque $PV = Pm$ l'état d'équilibre est atteint et il n'y a pas de transfert de matière pour une température donnée, la pression restant constante, à chaque valeur de l'humidité relative ϕ de l'atmosphère correspondant une valeur de l'humidité à l'équilibre X_{eq} du solide, et on peut construire une isotherme d'équilibre, relative au solide considéré (**Figure II.1**). [1]

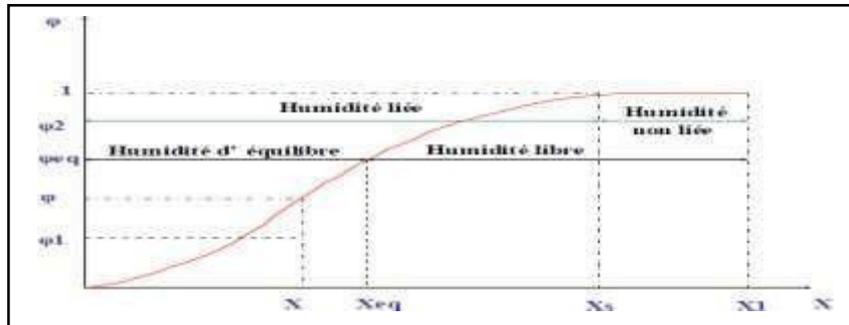


Figure II.1: Isotherme d'équilibre

On voit sur la **Figure II.1**, que l'humidité X d'un solide ne peut être en équilibre qu'avec une atmosphère dont l'humidité relative est ϕ_{eq} . Si l'humidité relative de l'atmosphère est :

- 1- $\phi_1 < \phi_{eq}$ il y'a désorption c'est-à-dire séchage du solide.
- 2- $\phi_2 > \phi_{eq}$ il y'a adsorption c'est-à-dire mouillage.[41]

Soit X_s l'humidité d'un solide en équilibre avec une atmosphère saturée en humidité ($\phi=1$).

Si un solide d'humidité $X_1 > X_{eq}$ est soumis à un courant gazeux constant, d'humidité relative, il perd son humidité jusqu'à ce que celle-ci devienne égale à X_{eq} qui est l'humidité à

L'équilibre du solide correspondant à ϕ_{eq} . Un séjour, même prolongé dans cette atmosphère ne diminue pas son humidité au-dessous de X_{eq} . La différence $(X_1 - X_{eq})$ représente l'humidité libre qui seule peut être évaporée.[42]

Lorsque l'humidité d'un solide est inférieure à X_s , elle exerce une pression de vapeur inférieure à celle du liquide pur à la même température ; elle est appelée humidité liée au solide, elle consiste au liquide contenu dans les capillaires fins ou en solution retenu dans les parois cellulaires du solide, ou adsorbé à la surface du solide. [20]

Si au contraire, l'humidité du solide est supérieure à X_s , elle est appelée humidité non liée : la tension de vapeur qu'elle exerce est celle du liquide pur à la température où l'on opère. Cette humidité peut se lire sur le diagramme, elle est égale à $(X_1 - X_s)$. [20]

II.7. Isotherme d'adsorption et de désorption :

Dans chaque opération de séchage, il y a un équilibre d'humidité air-produit que nous devons prendre en compte. Cet équilibre où plus exactement la valeur de l'humidité d'équilibre est déterminée pratiquement par les isothermes de sorption du produit. [43].

L'isotherme de sorption est habituellement décrite par une courbe, qui illustre l'évolution de la teneur en eau d'équilibre X_{eq} d'un produit en fonction de l'activité de l'eau ou de l'humidité relative de l'air qui l'entoure H_r pour une température T . Cette courbe fournit donc des informations valables au sujet de l'équilibre hygroscopique du produit. [44].

La connaissance de l'isotherme de désorption est particulièrement importante en vue du séchage d'un produit. Elle permet de calculer la teneur en eau d'équilibre X_{eq} du produit avec l'air de séchage qui est la limite vers laquelle va tendre la teneur en eau X du produit à la fin du séchage. La détermination de cette courbe consiste à placer un échantillon du produit dans une atmosphère à humidité relative connue jusqu'à l'équilibre (masse de l'échantillon inchangée) à ce moment on relève la valeur de l'humidité absolue d'équilibre du produit, ce qui représente un point de la courbe. La méthode utilisée est la méthode des sels saturés qui consiste à suspendre un échantillon du produit dans un récipient étanche à l'intérieur duquel une solution maintient une humidité relative constante. Cette solution peut être une solution saline saturée en sel ou une solution d'acide sulfurique de concentration fixée. La température est maintenue constante en plaçant les récipients dans une enceinte thermostat. On utilise autant de sels ou de concentration différents (et donc de récipients) que l'on veut obtenir de points sur l'isotherme. Cette méthode est très longue : l'équilibre air/produit n'est parfois [45].

Atteint qu'après plusieurs semaines, elle ne convient donc pas à la détermination des points de l'isotherme correspondants aux valeurs élevées de H_r pour des produits biologiques qui subiraient des dégradations dues aux moisissures avant que l'équilibre ne soient atteint. La cinétique peut toutefois être accélérée de manière importante en créant un vide dans les récipients ce qui peut alors étendre le champ d'application de la méthode en réduisant la durée de la mesure [46]

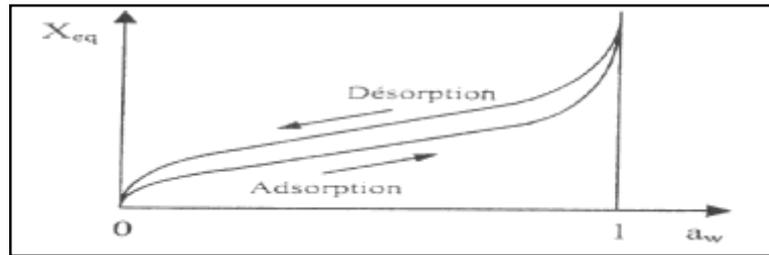


Figure II.2: Isotherme d'adsorption et de désorption

Les isothermes d'adsorptions/désorption se composent de trois zones, chaque zone correspond à un mode de fixation particulier de l'eau sur le produit. [47]

* Zone 1 ($a_w < 0.3$) : correspond à l'eau "fortement liée" dite aussi eau de constitution. L'eau est intimement liée aux composantes biochimiques par des liaisons covalentes ; cette eau n'est pratiquement pas disponible comme solvant ou réactif et correspond à la première couche (monocouche) qui entoure la matière sèche d'aliment. [48]

* Zone 2 ($0.3 < a_w < 0.7$): correspond à l'eau "faiblement liée", sous forme de couche polymoléculaire (multicouche) recouvrant partiellement la surface du substrat sec.

II.7.1. Zone 3 ($a_w > 0.7$): correspond à l'eau "libre" ou eau "liquide" qui n'est retenue à la surface du substrat sec que par des liaisons hydrogènes. Cette eau est disponible tant comme solvant que réactif. C'est uniquement sous cette forme que l'eau est utilisée par les micro-organismes et peut permettre les réactions enzymatiques. [8].

II.7.2. Modèles de représentation des courbes de sorption et désorption :

De nombreux modèles empiriques, semi-empiriques ou théoriques ont été proposés pour décrire le comportement des courbes de sorption/désorption déterminées expérimentalement. Toutefois deux modèles sont plus particulièrement utilisés par les chercheurs : le modèle de BET (Brunauer-Emmet-Teller) particulièrement intéressant pour l'étude de la partie des courbes relative aux faibles teneurs en eau et le modèle de GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer) qui lui représente les courbes de sorption/désorption jusqu'à une activité de 0,80 à 0,85. [7].

Tableau .I 3: Modèles des courbes de sorption, désorption

Auteurs	Equation du modèle	Références
Brunauer- Emmett- Teller (B.E.T)	$X_{eq} = (A + BT)(Caw)/(1 - aw)(1 - aw + C. aw)$	Iglesias & Cherifie [95]
Oswin	$X_{eq} = (A + BT)(aw/1 - aw)^c$	Oswin [96]
Halsey	$X_{eq} = [-(A + BT)/X^c]_{eq}$	Iglesias & Cherifie [95]
Henderson	$1 - a_w = [-K. (T + n).]_{eq}$	Thompson [97]
Chung-Pfost	$a_w = \exp[(-A/(T + B))\exp(-CX_{eq})]$	Pfost [98]
Langmuir	$X_{eq} = 1/[A + B. aw^{c-1}]$	Langmuir [99]
Peleg	$X_{eq} = A. aw^{k^1} + B. aw^{k^2}$	Peleg [100]
Guggenheim- Anderson-de Boer (G.A.B)	$X_{eq} = A. B. C. aw/[1 - B. aw][1 - B. aw + B. C. aw]$	Van den Berg [101]

II.8. Cinétique du séchage

On étudie la cinétique de séchage des différents produits par des courbes représentant l'évolution de la vitesse de séchage (masse d'eau évaporée par unité de temps et de surface d'évaporation du matériau (kg d'eau/m².s) en fonction du temps. Ces courbes sont Généralement obtenues pour différentes conditions expérimentales (températures, vitesse de l'air asséchant, hygrométrie...). Elles caractérisent le comportement global du produit pendant l'opération de séchage en fonction du temps. Les courbes de cinétique de séchage varient suivant Le produit à sécher et contiennent de une à trois principales périodes de la cinétique de séchage, tout dépend du produit, **Figure II.3.**

On obtient la courbe de séchage expérimentale en suivant la variation de l'humidité absolue du produit par des pesées successives au cours du séchage jusqu'à atteindre l'humidité absolue d'équilibre du produit. Pour chaque produit il existe une valeur d'humidité optimale d'équilibre pour laquelle le produit ne se détériore pas et garde ses propriétés organoleptiques et nutritionnelles. On doit impérativement atteindre cette valeur optimale à la fin de l'opération de séchage qui est dans notre cas pour la tomate de $\Phi_{eq} = 13\%$.

II.8.1. Différentes périodes de la cinétique de séchage d'un produit humide

L'expérience permettant de caractériser la cinétique de séchage consiste à soumettre une couche mince d'un produit à l'action d'un courant d'air de température, humidité et vitesse fixées et de mesurer la masse du produit en fonction du temps. [17]

Dans la courbe ci-dessus est schématisée la variation de la vitesse de séchage en fonction du temps. Souvent on construit aussi la courbe de la vitesse de séchage en fonction de l'humidité restant dans la matière au cours du séchage. Dans la **Figure (II.3)** on distingue trois périodes :

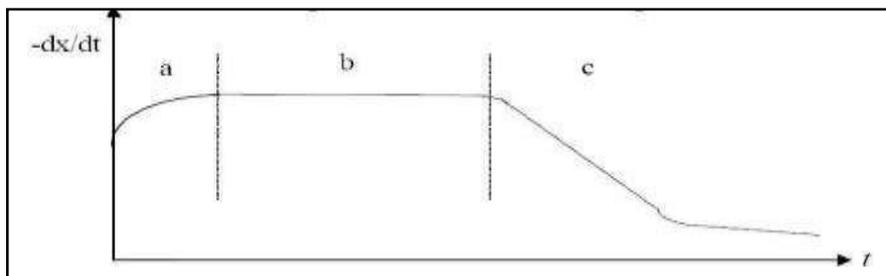


Figure II.3: Périodes du séchage.

II.8.1.1. Période de mise en température (région a)

Quand un produit d'une température de surface T_s et d'une pression partielle de vapeur d'eau P_s est brassé par un courant d'air chaud, des échanges de chaleur et de matière ont lieu entre le produit et l'air asséchant. Pour être emportées sous forme de vapeur les quantités d'eau contenues dans le produit exigent un apport correspondant de l'énergie de vaporisation, l'excès de chaleur fournie par l'air amène le produit à s'échauffer davantage jusqu'à atteindre la température du bulbe humide

caractéristique de l'environnement séchant. Cette période est généralement très courte au regard du temps de séchage global. [25]

II.8.1.2. Période à allure constante (région b)

Cette période de séchage à vitesse constante correspond à l'évaporation du liquide superficiel. Le liquide remonte en surface sous l'action des forces d'aspiration des capillaires et il se renouvelle à une vitesse suffisante pour former une pellicule continue et compenser l'évaporation. Le flux de chaleur échangé par convection entre l'air et le produit est entièrement utilisé pour l'évaporation de l'eau. Cette période est identique au séchage isenthalpique d'un film d'eau et dépend donc essentiellement des conditions aérauliques entourant le produit à sécher. Lorsque l'humidité superficielle du solide n'est pas renouvelée à une allure suffisante pour maintenir en surface une pellicule continue du liquide, la vitesse cesse d'être constante. Pour les produits alimentaires et biologiques, on n'observe en général pas de période de séchage à vitesse constante. Ceci s'explique par le fait que les parois cellulaires perturbent la migration rapide de l'humidité vers la surface extérieure du produit, par la migration des solutés qui obstruent les pores et par le durcissement et la rétraction de la surface du produit. [26]

II.8.1.3. Période de ralentissement (région c)

Au cours de cette période la surface du produit n'est plus saturée en vapeur d'eau et le transfert de masse est contrôlé par les mécanismes complexes du déplacement de l'eau de l'intérieur vers la surface du produit. Cette période représente souvent le quasi-totalité du séchage. Le ralentissement de l'allure de séchage est expliqué par les phénomènes suivants : [3]

* **Disparition de l'eau libre en surface de produit** : La zone d'évaporation "front de séchage" qui se trouvait en surface se déplace vers l'intérieur du produit. En amont de cette zone, il y a migration de l'eau libre, tandis qu'en aval c'est l'eau liée et la vapeur d'eau qui sont évacués. [3]

La brusque réduction de la surface effective de transfert due à une alimentation insuffisante en eau libre est la cause de ce ralentissement.

* **L'épaisseur du produit**: si cette épaisseur est de plus en plus croissante, cela signifie que la vapeur d'eau doit traverser un parcours plus long expliquant ainsi et en grande partie ce ralentissement de l'allure de séchage.

* **La diffusivité de l'eau dans le produit** : elle varie avec la teneur du produit en eau, plus ce dernier est sec, moins il devient perméable à l'eau.

- * **La résistance mécanique des parois cellulaires intactes :** Les parois cellulaires intactes empêchent la vapeur d'eau de passer en grande quantité à l'extérieur du produit.
- * **Le croutage:** Certains composés solubles notamment les sucres et les sels accompagnent l'eau évaporée pendant la période à allure constante (région b) et sont disposés à la surface. Ce phénomène appelé croutage est à l'origine de fortes concentrations en surface de ces composés solubles qui bouchent les pores du produit. L'accumulation et l'assèchement de ces solutés imperméabilisent la surface du produit. [5]

II.9. Classification des systèmes de séchage à énergie solaire

Les systèmes de séchage à énergie solaire sont classés principalement selon leurs modes de chauffage et la façon en la quels la chaleur solaire est utilisée. De façon générale, ils peuvent être classés dans deux groupes principaux, à savoir : [6]

- ✓ Systèmes de séchage à énergie solaire actifs (dont la plupart des types se nomment souvent les dessiccateurs solaires hybrides);
- ✓ Systèmes de séchage à énergie solaire passifs.

Trois classes secondaires distinctes des systèmes de séchage solaires actifs ou passifs peuvent être identifiées (qui changent principalement dans l'arrangement de conception des composants de système et le mode de l'utilisation de la chaleur solaire), à savoir :

- ✓ Les séchoirs solaires directs.
- ✓ Les séchoirs solaires indirects.
- ✓ Les séchoirs solaires mixtes.

II.9.1. Séchoir solaire passif ou à convection naturelle :

Le séchage par convection naturelle utilise l'énergie solaire, qui chauffe l'air caloporteur, et lui donne une capacité supplémentaire d'accueil de vapeur d'eau. Cet air chauffé a tendance à monter vers le haut et sort par une cheminée en emportant avec lui l'humidité extraite des produits à sécher. L'écoulement de l'air asséchant ici se fait par effet de cheminée. L'énergie solaire seule en assure le fonctionnement, ces séchoirs sont particulièrement adaptés aux régions éloignées de toute sorte de distribution d'énergie. L'un des inconvénients de ce type de séchoir c'est le risque de dépassement

de la température maximale admise par le produit, souvent due à la mauvaise circulation de l'air, fréquente dans ces systèmes. [16]

II.9.2. Séchoir solaire actif ou à convection forcée :

Le fluide asséchant est forcé par un ventilateur, ce qui permet une augmentation du pouvoir évaporateur du séchoir. Généralement la convection forcée l'emporte largement sur la convection naturelle qui ne permet pas encore, étant donné l'état des recherches en cette matière, de contrôler le déroulement du séchage. [19]

Cette classe de séchoir solaire permet un meilleur contrôle de l'opération de séchage et une bonne amélioration du temps de séchage par rapport au séchoir passif, car l'air asséchant est évacué en vitesse et d'une façon continue. Néanmoins ce type de séchoir a pour inconvénient : un coût de production et d'investissement relativement élevé par rapport au séchoir passif, nécessité d'approvisionnement local en électricité conventionnelle ou photovoltaïque pour faire fonctionner le ventilateur. [1]

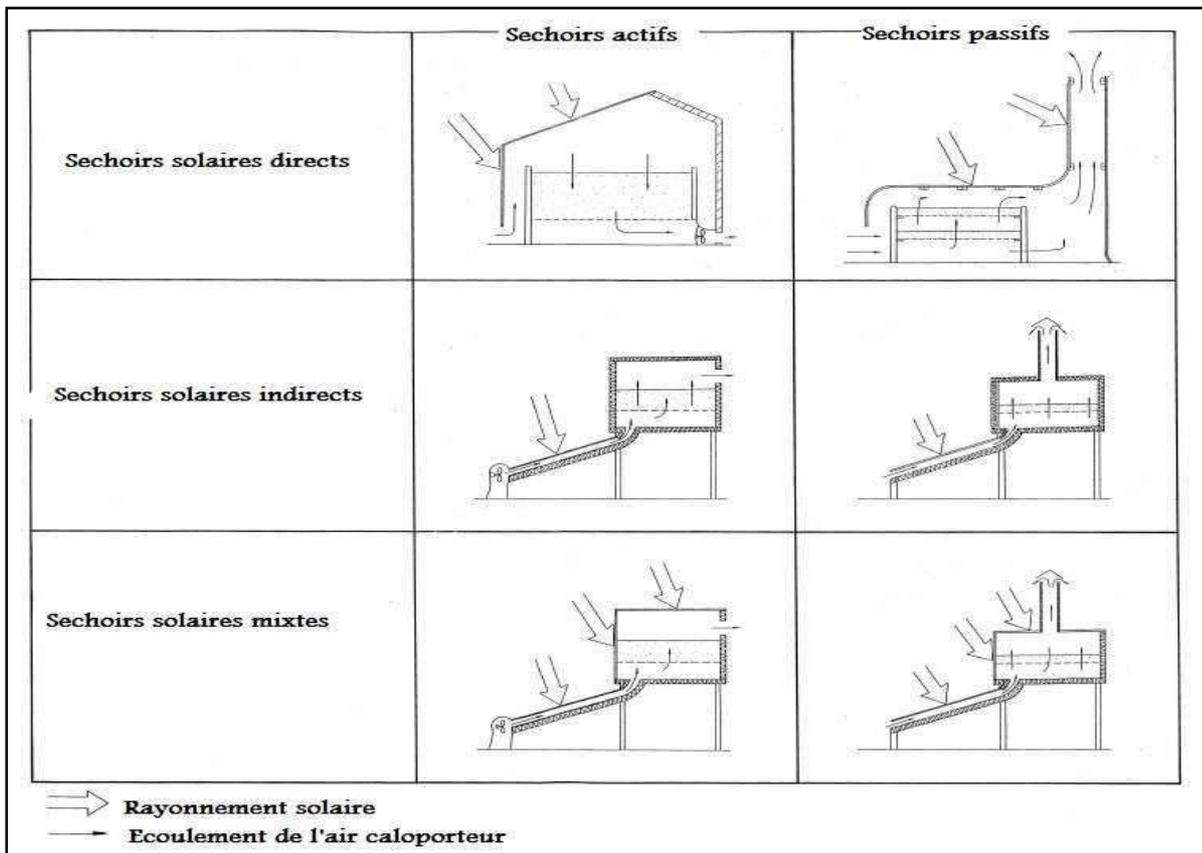


Figure II.4: Différents types de séchoirs solaires.

II.9.3. Séchoir solaire direct

Les rayons solaires frappent directement les produits. Le séchoir solaire direct se compose d'une seule pièce qui fait office à la fois de chambre de séchage et de collecteur solaire. Le fond de la chambre de séchage est peint en noir pour augmenter la capacité d'absorption de chaleur, une feuille de plastique ou polyéthylène transparent sert généralement de toit mais on peut également utiliser d'autres matériaux plus chers comme le verre ou les plastiques spéciaux (polyéthylènes agricoles). Néanmoins l'interaction directe rayonnement solaire – produit engendre la dégradation de la qualité du produit et la destruction des nutriments. [49]

II.9.4. Séchoir solaire indirect

Le séchoir solaire indirect (**Figure. II.5**) se compose essentiellement de deux parties: en amont un insolateur qui convertit le rayonnement solaire en chaleur où l'air asséchant est chauffé et monte par convection naturelle ou forcée jusqu'à la chambre de dessiccation contenant les produits à sécher où un transfert de chaleur de l'air vers le produit et un transfert de masse du produit vers l'air se produisent au cours du parcours du fluide caloporteur. Ce dernier sort vers l'extérieur de la chambre de dessiccation par le biais d'une cheminée en emportant avec lui l'humidité extraite des produits. Ces systèmes possédant des insolateurs plans en amont sont plus performants et plus répandus que les séchoirs directs, ils présentent l'avantage de mieux préserver les caractéristiques de l'aliment : (couleur, propriétés organoleptiques, valeur nutritive.....etc). Ils sont donc particulièrement adaptés au séchage des produits agroalimentaires. [48]

Entrée d'air

1. L'air asséchant
2. Claie

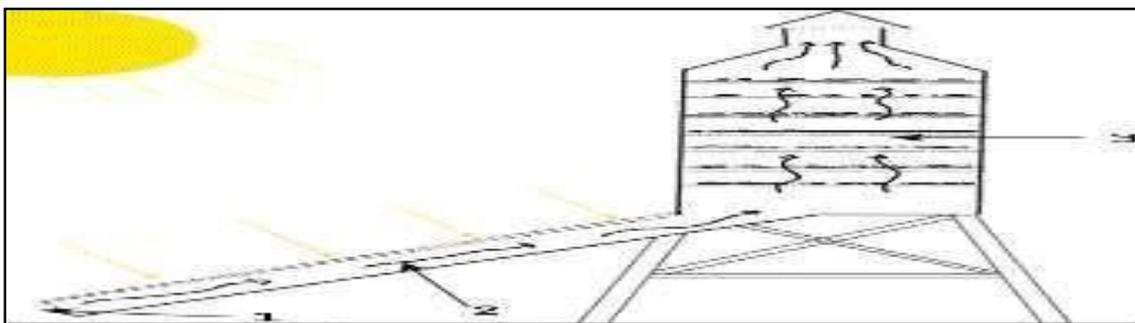


Figure II.5 : Séchoir solaire indirect.

II.9.5. Les séchoirs solaires mixtes

Ces séchoirs combinent les dispositifs des séchoirs directs et indirects. Dans ce type de séchoirs, l'action combinée du rayonnement solaire direct sur le produit à sécher et le capteur solaire est de fournir la chaleur nécessaire pour le processus de séchage. La **Figure (II.6)** montre un type de séchoir solaire mixte. [50]

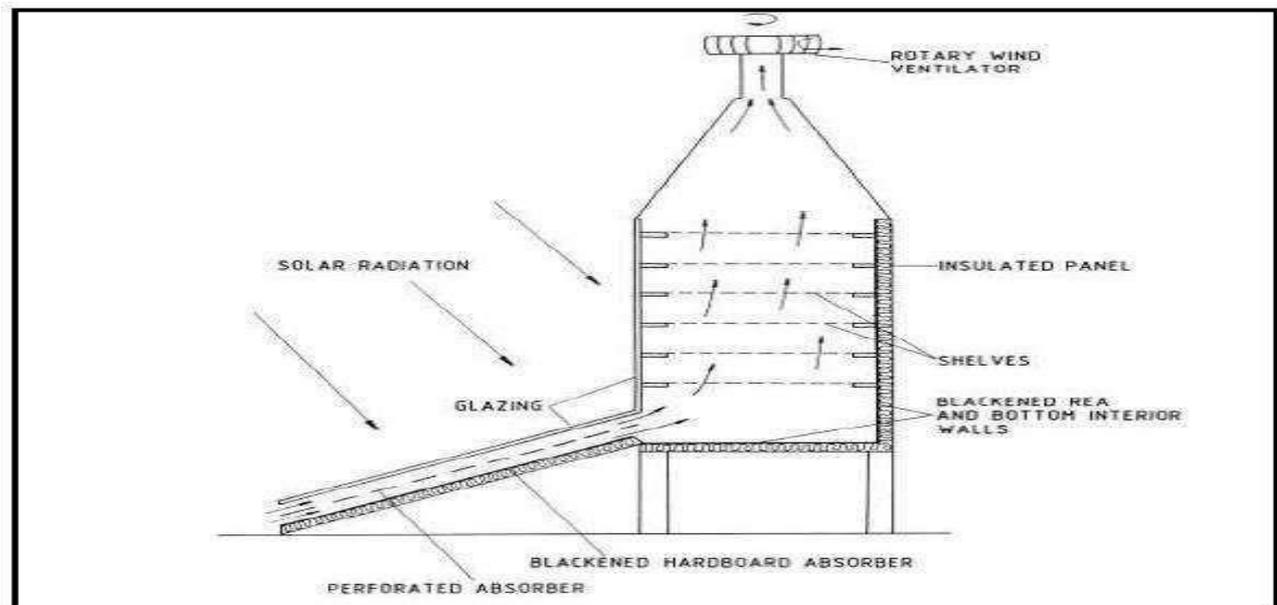


Figure II.6 : Séchoir solaire mixte à circulation forcé.

II.9.6. Séchoirs solaires hybrides

Dans ce type de séchoir hybride (**Figure.II.7**) on utilise une des sources d'énergies auxiliaires (électrique, gaz, fuel, bois, biomasse...) pour parer aux aléas climatiques et ajuster la température de l'air asséchant à la température fixe de consigne moyennant des thermorégulateurs. Les séchoirs solaires hybrides sont plus performants que les séchoirs solaires passifs, car ils peuvent fonctionner par temps couvert ou pendant la nuit. Néanmoins ce type de séchoir a pour inconvénient : un coût de production et d'investissement relativement élevé par rapport au séchoir passif, nécessité d'approvisionnement local en électricité, gaz, pièce de rechange et demande un personnel qualifié pour la maintenance[25].

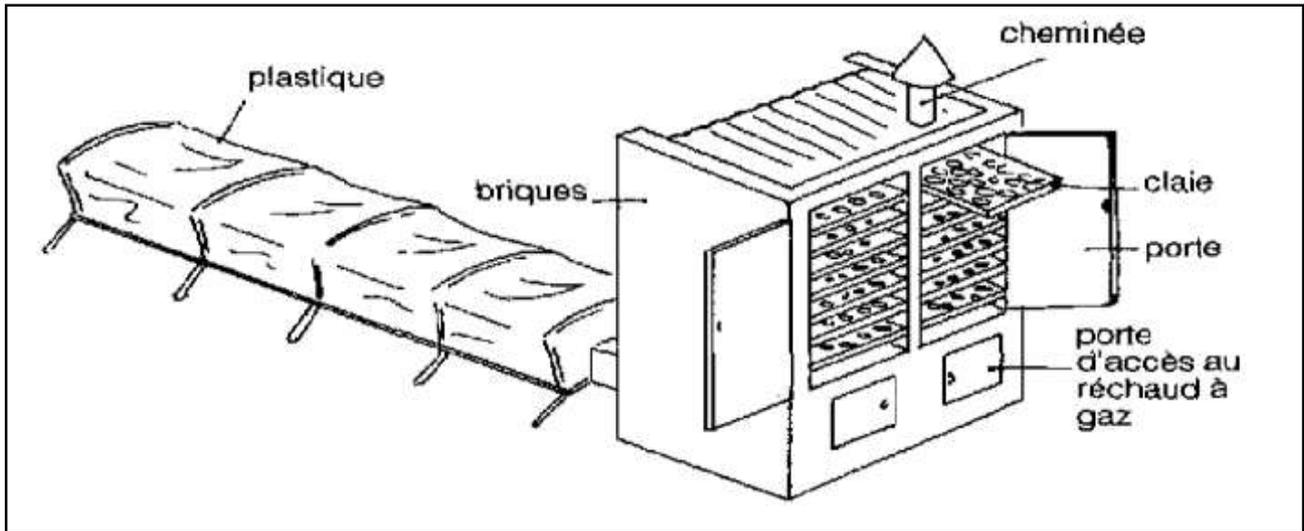


Figure II.7: Séchoir solaire hybride solaire gaz.

II.10. Mode de transfert de chaleur et de masse au cours du séchage

Le séchage (Figure.II.8) est caractérisé par un transfert de chaleur et de masse (l'eau sous forme de vapeur). L'eau est transférée de l'intérieur du produit vers l'interface produit-air par le phénomène de diffusion et de l'interface vers l'air asséchant par le phénomène de convection [4].

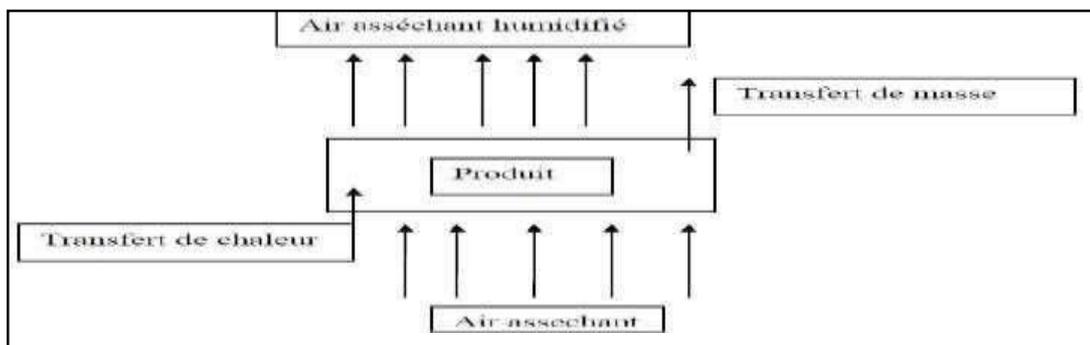


Figure II.8: Mode de transfert lors du séchage.

Apportant l'énergie nécessaire à l'activation et la libération des molécules d'eau, ce transfert de chaleur se fait en deux étapes différentes :

*Transfert par convection :

L'air asséchant alimente la surface du produit en chaleur d'après la loi de Newton :

$$\phi_{conv} = \alpha S_p (T_{a,a} - T_{s,p})$$

*Transfert par conduction:

La surface du produit chauffée par l'air asséchant, cette chaleur énergie est transmise vers les couches internes du produit par conduction. Ce phénomène est régi par la loi de Fourier :

$$\phi_{cond} = (-\lambda S \frac{\partial T_p}{\partial x})$$

II.11. Description et formulation mathématique du séchage

II.11.1. Description et modélisation du caisson de dessiccation

Puisque nous procédons à un séchage à température, à débit, et à humidité d'air constant à l'entrée du séchoir hybride indirect, nous nous contentons de simuler le comportement de l'unité de séchage muni du chauffage d'appoint. Le modèle élaboré tient compte des phénomènes de transfert air produit d'une manière globale et les grandeurs physiques utilisées sont des grandeurs macroscopiques et non pas des grandeurs locales. Ce modèle global permet de simuler la cinétique de séchage de la tomate dans l'hypothèse des conditions constantes. Deux modes de transferts sont mis en jeu: thermique et massique. Leur étude nécessite la connaissance des coefficients et des surfaces d'échange. La modélisation du système se réduit à une étude unidimensionnelle, grâce à la configuration du caisson de dessiccation composée des claies horizontales, contenant des tranches minces de tomate traversées perpendiculairement par un air asséchant chaud. On découpe le séchoir dans le sens de l'écoulement de l'air en tranches fictives d'épaisseur dZ , où la température et l'humidité sont supposées constantes. Néanmoins, ces grandeurs varient suivant le mode pas à pas, d'une tranche à l'autre. Pour chaque tranche, on écrit les bilans thermiques et massiques dans les différents milieux en présence d'air, du produit et des parois voir **figure (II.9)**; en notant que dans chacune des tranches, les échanges se font avec l'air pris dans des conditions de sortie de la tranche précédente [51].

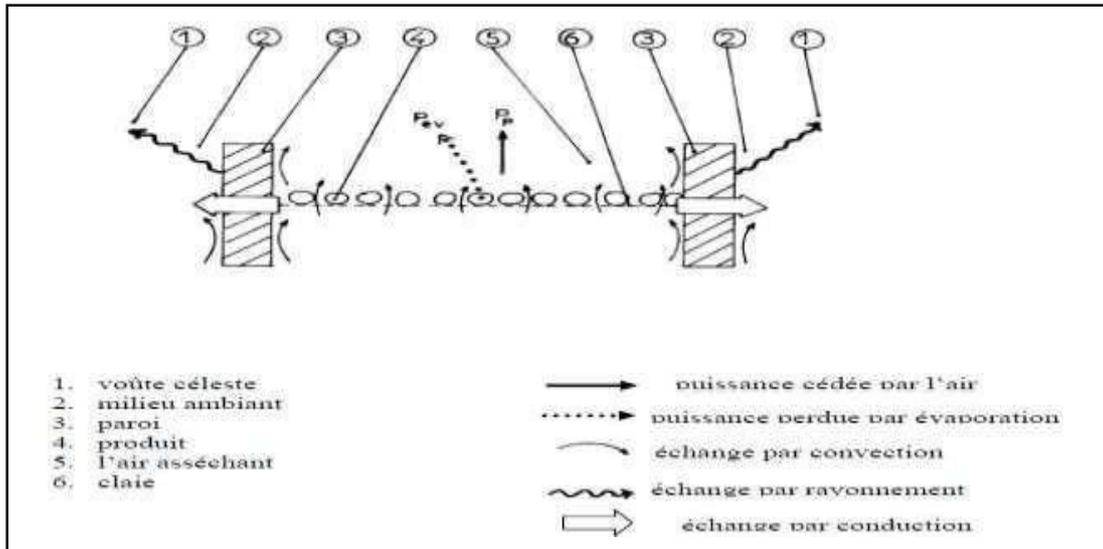


Figure II.9: Echange thermique et massique dans une tranche du caisson de dessiccation

II.11.2. Hypothèses simplificatrices

Vu la complexité du problème, nous avons utilisé quelques hypothèses simplificatrices. Plusieurs travaux entamés sur le séchage des produits agroalimentaires ont montré que ces hypothèses sont réalistes et les simplifications n'ont pratiquement pas d'influence sur les résultats (A.Belghit 1997, L. Benamoune & A. Belhamri 2006). [2]

Pour simplifier l'étude des transferts de chaleur et de masse couplés au niveau des claies de séchage on suppose les hypothèses suivantes : [3]

- Les échanges radiatifs à l'intérieur du séchoir sont négligeables.
- Les échanges thermiques relatifs aux claies sont négligeables.
- La température et la teneur en eau à l'intérieur du produit sont supposées uniformes.
- Les variations temporelles de la température de l'air sont négligeables devant celle du produit.
- Le produit est coupé en rondelles de couche minces.
- La variation du volume du produit au cours du séchage est négligée.
- Pour chaque claie, le problème est unidimensionnel dans la direction de l'écoulement de l'air asséchant

II.11.3. Equations du modèle

On suppose que le caisson de dessiccation est découpé en un certain nombre de tranches fictives dans la direction Z de l'écoulement, définies par le volume délimité par deux claies et les parois de l'armoire de séchage, voir **Figure (II.9)**. [6]

- Bilan au niveau de la paroi isolante extérieure
- Bilan au niveau de la paroi isolante intérieure
- Bilan au niveau de l'air caloporteur
- Bilan au niveau des tranches minces de tomate: siège de transfert de chaleur et de masse

Où $m^* = dm/dt = mps (dX/dt)$ avec mps : Matière sèche dans le produit (Kg), et (dX/dt) la vitesse de séchage exprimée en (kg d'eau par kg de matière sèche/s) et LV la chaleur latente de vaporisation de l'eau ($J.kg^{-1}$). [16]

II.11.4. Détermination des coefficients d'échange

a) Par conduction

- A travers les parois de l'armoire de séchage :

$$h_d = 1 / (e_{pi} + e_{pp} + e_{pe}) / (\lambda_{pi} + \lambda_{pp} + \lambda_{pe})$$

Avec :

λ_{pi} : Conductivité thermique de la paroi interne.

λ_{pp} : Conductivité thermique de l'isolant entre les parois.

λ_{pe} : Conductivité thermique de la paroi externe.

e_{pi} : Epaisseur de la paroi interne du séchoir. e_{pp} = épaisseur de l'isolant entre les parois.

e_{pe} : Epaisseur de la paroi externe du séchoir.

b) Par rayonnement

Entre la face externe de la paroi de l'armoire de séchage et la voûte céleste -

$$h_r = \sigma \cdot (T_{pe} + T_c)(T^2 + T_c^2)$$

Où

σ : Est la constante de Stefan Boltzmann.

ϵ_p : Est l'émissivité de la paroi du séchoir.

T_c : Est la température équivalente de la voûte céleste donnée par la relation de Swinbank(1963) :

$$T_c = 0.0552T^{1.5} \quad ab$$

c) Par convection

Entre l'air ambiant et la face externe de la paroi de l'armoire de séchage
(Mc Adams, 1954)

$$h_{ce} = 5.67 + 3.86V_v$$

-Entre la face interne de la paroi de l'armoire de séchage et l'air asséchant :

$$h_{ci} = \frac{Nu \cdot \lambda_a}{\Delta Z}$$

Où $Nu = 0.35Re^{0.8}Pr^{0.33}$

Pr : Est le nombre adimensionnel de Prandtl et ΔZ : la hauteur d'une tranche (pas d'espace)
(Saccadura, 1978).

- Entre le produit et l'air asséchant :

$$h_{cp} = \frac{Nu \cdot \lambda_a}{D_{pr}}$$

Avec :

D_{pr} : Diamètre moyen du produit.

Nu : Nombre de Nusselt égale à $0.37 Re^{0.6}$ d'après la relation de Charm 1963. Re : Nombre de Reynolds.

$$Re = \frac{\rho_a \cdot V_a \cdot D_{pr}}{\mu_a}$$

Va : Vitesse de l'air au niveau du produit.

II.11.5. Méthode de résolution

Pour déterminer les différentes températures (des parois du séchoir, de l'air asséchant et du produit au niveau de chaque claie) et teneurs en eau du produit au niveau de chaque claie, nous devons discrétiser les équations (II.6) à (II.9) Ceci conduit à un système de quatre équations à quatre inconnues que l'on peut mettre sous forme condensée suivante: [17]

$$[A] X_n = B_n$$

Où [A]: Matrice des coefficients. X : Vecteur des inconnues.

B: Vecteur connu lié aux coefficients de l'équation initiale.

II.12. Démarche à suivre pour bien mener une opération de séchage solaire:

II.12.1. Détermination des contraintes du produit

Il faut dégager le genre de produit à sécher, ainsi que ses caractéristiques, afin de bien dimensionner le séchoir et déterminer les conditions opératoires optimales de l'opération de séchage. La construction d'un prototype de séchoir doit tenir compte de plusieurs critères énumérés ci-dessous. [13]

1- Nature du produit (fruits, légumes, viandes, céréales, poissons.....) qui nous

Détermine le type de séchoir et les conditions opératoires.

2- La quantité de produit à sécher journalière ment et la durée de séchage qui conditionne le dimensionnement de l'installation.

3- Diminuer l'intervalle entre l'époque de récolte et celle du séchage pour éviter la détérioration du produit par l'air environnant.

4- La préparation à effectuer: lavage, égouttage, épluchage, décorticage...

5- Pre-traitements: blanchiment, salage, soufrage, trempage dans des solutions caustiques.....

6- Degré de séchage souhaité, plus l'humidité d'équilibre du produit est très basse, plus le temps de séchage est long.

7- Les fourchettes des températures requises pour effectuer le séchage. Leur connaissance est indispensable à double titre, d'abord pour choisir le mode de captation du rayonnement solaire,

ensuite pour contrôler la conduite du séchage. Si les températures de séchage ne doivent pas dépasser 70°C (cas de la majorité des produits agricoles), les capteurs plans relativement bon marché suffisent pour capter le rayonnement solaire. Au-delà, il faut le concentrer ou employer des surfaces absorbantes sélectives. Il s'agit là des techniques sophistiquées dont le surcoût forcément trop élevé doit être, d'une manière générale, soigneusement étudié et qui, par suite ne conviennent pas à des produits courants. En fait il faut respecter ces valeurs critiques si non le produit se détériore et ne gardera pas ses propriétés organoleptiques. [4]

8-CROUTAGE: Il faut éviter le croulage en séchant moins vite à des températures plus ou moins basse pour que l'eau ne reste pas emprisonnée à l'intérieur du produit suite à la fermeture des pores en surface du au croulage. [15]

II.12.2. Caractéristiques du site

II.12.2.1. Facteurs climatiques :

La connaissance du gisement solaire du site pour l'implantation d'un séchoir solaire est une condition nécessaire. Les données relatives à la température et l'humidité de l'air, vitesse du vent sont disponibles au niveau des stations météorologiques; néanmoins, les données relatives aux rayonnements direct, diffus et global généralement ne sont pas disponibles au niveau de ces stations, il faut donc faire appel aux formules empiriques reposant sur le traitement statistique des données météorologiques existantes. [20]

Des températures ambiantes trop basses sont de toute évidence une contre-indication l'implantation d'installations complètement solarisées, le séchage s'effectuant trop lentement, dans ce cas, une autre source de chaleur est nécessaire pour élever la température de sorte que le solaire n'est plus alors qu'un appoint dont il faut étudier la rentabilité avec soin. [25]

Inversement, des températures extérieures trop élevées notamment dans les zones arides exigent que des précautions soient prises pour éviter que la température de l'air asséchant ne

dépasse la valeur supportable par le produit. La nécessité d'une ventilation convenable s'impose pour diminuer la température dans le cas du besoin. Le paramètre degré d'humidité de l'air est important et le séchage ne peut se réaliser avec un air saturé ou contenant plus de 80% d'humidité car son pouvoir évaporatoire est très faible. La direction et la vitesse des vents dominants sont utiles car ces derniers peuvent réduire le gain de chaleur utile d'un capteur à air solaire ou augmenter les pertes de chaleur de l'enceinte de séchage. L'orientation du séchoir et la localisation des conduits intérieurs d'air doivent être étudiées relativement aux vents dominants. [3]

D'autres questions générales peuvent être posées sur certaines commodités du site :

- Existence ou pas de l'électricité dans le site
- Espace disponible
- Existence ou pas de combustible pour le chauffage d'appoint
- Disponibilité ou pas de l'eau pour lavage et prétraitement des produits à sécher
- Matériaux de constructions nécessaires (verre, aluminium, plexiglas, laine de verre.....) existent – ils localement ou peut on leur trouver des substituants locaux?
- Moyens de stockage, leur capacité, leur emplacement?

II.12.2.2. Facteurs humains

- Existence ou pas sur place d'une main d'oeuvre compétente
- Intervention de la main d'oeuvre locale (artisans, forgerons) pour la construction des petits séchoirs simples et rustiques pour traiter de petite quantité de produit à usage domestique; ou peuvent aussi fabriquer des systèmes de séchage solaire comportant des organes de captation, de stockage, de gestion et de contrôle, capables de traiter des quantités plus importantes et destinées au secteur industriel. [2]

II.12.3. Réalisation du séchoir

- choix du type de séchoir

Le choix du type de séchoir est corollé au type de produit à sécher. Pour les produits volumineux les séchoirs serres sont tout indiqués d'un point de vue technico-économique. Si on a des produits à haute valeur commerciale (fruits, légumes, poisson...etc.) les séchoirs tunnels conviennent mieux. Dans tout les cas de figure il est conseillé d'assurer la ventilation par convection forcée afin de pouvoir contrôler le débit de l'air asséchant et par suite sa température. La ventilation par convection naturelle ne garantissant pas un bon déroulement du séchage, peut convenir, à la rigueur, pour un usage individuel aux exigences réduites. [8]

L'utilisation de l'appoint dépend des conditions atmosphériques et de l'objectif du manipulateur est ce qu'il veut sécher d'une façon continue le jour et la nuit, dans ce cas le système d'appoint s'impose, ou seulement pendant le jour? [8]

- Modélisation et simulation du comportement du séchoir en fonction des différents paramètres (débit, température, humidité de l'air,...etc.).
- Construction du séchoir.
- Expérimentation du séchoir à vide et sous charge.

- Ajustement et mise au point du séchoir avec une optimisation technico-économique.

II.13. Modèle de séchage en couche mince

La modélisation des courbes de séchage solaire à définir une fonction vérifiant l'équation :

$$X_r = f(t) \text{ dite équation caractéristique de séchage}$$

On relève dans la littérature une abondance de modèles mathématiques sous forme de relations empiriques ou semi-empiriques pour décrire les courbes de cinétiques de séchage.

Les déverses équations donnent l'évolution au cours de séchage de la teneur en eau réduite en fonction du temps. Ces équations contiennent des constantes qui sont ajustées pour concorder avec les courbes expérimentales de séchage. Par conséquent, elles sont valables seulement dans le domaine d'étude expérimentale pour lequel elles ont été établies [9]

Le Tableau II.1 regroupe quelques équations caractéristiques de séchage trouvées dans la littérature pour décrire la cinétique de séchage solaire en couche mince d'un produit. [6]

Tableau II.1 : Différents modèles mathématiques de séchage.

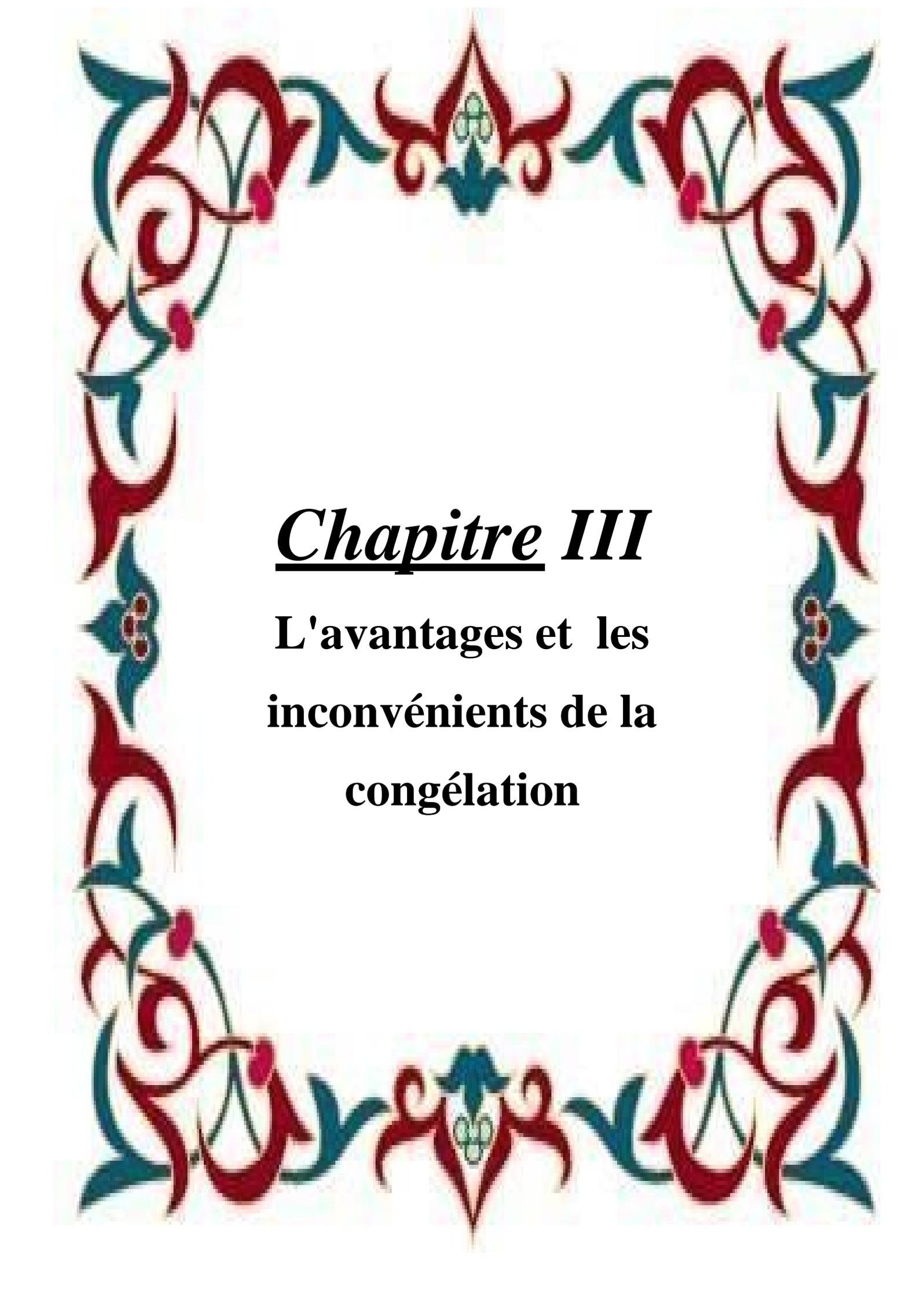
Nom du modèle	Expression du modèle	Références
Newton	$X_r = \exp (-kt)$	Lewis
Page	$X_r = \exp (- kt^n)$	Diamanteand Munro
Henderson and Pabis	$X_r = a \exp (- kt)$	Zhang and Litchfield
Modified Page	$X_r = \exp (- (kt)^n)$	Overhults et al.
Logarithmique	$X_r = a \exp (-kt) +c$	Yagcioglu et al.
Two – terme	$X_r = a \exp (-k_0 t) + b \exp (-k_1t)$	Henderson
Two – terme exponential	$X_r = a \exp (-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	Sharaf-Eldeen et al.
Approximation of	$X_r = a \exp (-kt) + (1-a) \exp (-kbt)$	Yaldiz and Ertekin

Diffusion		
Verma et al.	$X_r = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	Verma et al.
Midilli et al.	$X_r = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli et al.

Conclusion

Nous avons présenté, dans ce chapitre, l'utilisation de l'énergie solaire comme une solution aux différents problèmes liés au séchage : " économie d'énergie, limitation de la pollution, réponse à la dispersion géographique des lieux de séchage, une simplicité des techniques mise en œuvre..."

Malgré ces avantages, nous nous sommes aperçus des fortes contraintes liées à l'actuelle utilisation des séchoirs solaires à convection forcée. Nous avons trouvé, par exemple, que les trous d'aération du séchage solaire à convection forcée, utiles pour le renouvellement de l'air, apportent souvent des risques d'infestation par la saleté de l'air ou par l'entrée des insectes ou la manipulation humaine : en plus, il existe des difficultés de contrôle dans le taux de séchage. [52]

A decorative border with a repeating pattern of stylized red and teal floral motifs, including leaves and small flowers, framing the central text.

Chapitre III

**L'avantages et les
inconvenients de la
congélation**

III.1. Définition de congélation

La congélation est basée sur le fait que lorsque la température baisse jusqu'à -18 et -25 ° C, pratiquement toute activité des micro-organismes ainsi que l'action des enzymes dans les produits sont stoppées. C'est une méthode de conservation répandue car elle permet de préserver en grande mesure les propriétés organoleptiques et la valeur nutritionnelle des produits. L'inconvénient est la nécessité de maintenir constamment des températures très basses lors de la conservation des aliments. La congélation peut être utilisée (avec quelques exceptions tout de même), pour presque tous les types de produits d'origine végétale et animale. [38]

III.2. Généralités la surgélation

La surgélation est un procédé qui permet de stabiliser les caractéristiques de fraîcheur des produits.

Elle ne peut en aucun cas améliorer les qualités gustatives des produits déjà rassis.

En France, l'enseigne de Boulangerie ou de Boulanger, exclue pour le professionnel, toute possibilité d'utiliser, à quelque stade que ce soit, les techniques de surgélation du pain. (Loi du 25 Mai 1998). [38]

La Boulangerie-Viennoiserie et la Pâtisserie sont de plus en plus confrontées à des exigences contradictoires. [38]

Il leur faut à la fois proposer une gamme diversifiée, avec des produits disponibles tout au long de la journée et en même temps rationaliser leur production pour limiter les coûts.

Certaines techniques permettent de résoudre cette problématique. L'une d'entre elles est la surgélation. Elle est utilisée en pâtisserie depuis plusieurs décennies, et elle est bien adaptée à ce problème. [38]

Cette technique est parfois critiquée, mais en fait tout dépend de l'utilisation que l'on en fait. L'objectif primordial est de préserver une image artisanale des produits, et qui dit produit artisanal dit produit de qualité. [38]

Il est donc indispensable de se démarquer d'une production de type industriel qui se caractérise généralement par: [38]

- des matières premières “premier prix” et des sous dosages des matières premières les plus nobles,
- des temps de conservation longs en raison des nécessités de la distribution,
- une qualité certes régulière, mais banalisée : en effet, on ne peut pas modifier facilement une chaîne de fabrication pour introduire des variantes,
- la finition des produits par un personnel non qualifié.

III.3. Terminologie

La congélation est un terme général désignant le changement d'état de l'eau liquide en glace, et consiste en un abaissement et en un maintien de la température du produit à une température négative de façon à congeler l'eau. [38]

On distingue trois stades dans le processus de congélation : la pré-congélation, la congélation et le refroidissement. [38]

Phase 1: La pré-congélation est le passage de la température initiale du produit à congeler à la température du début de cristallisation. Refroidissement de la température initiale de l'eau jusqu'à une température légèrement inférieure au point de fusion (0°C). [37]

Phase 2: La congélation est la période pendant laquelle la majorité de l'eau est transformée en glace. Période de cristallisation. La température reste pour ainsi dire constante du fait du changement d'état liquide-solide. (C'est la phase la plus délicate, qu'il faut franchir le plus rapidement possible). [37]

Phase 3: Le refroidissement est l'abaissement de la température jusqu'à la température de stockage (-18°C).

III.4. Cristallisation de L'eau

Le franchissement de la zone de cristallisation (entre 0°C et -5°C) nécessite beaucoup d'énergie, en raison du changement d'état de l'eau (*eau liquide* »>*eau glace*). Une congélation lente entraîne la formation de cristaux de glace de taille relativement importante. Ceux-ci sont alors à l'origine de la dénaturation des protéines, et d'altérations irréversibles qui fragilisent le produit. Le produit après décongélation deviendra ainsi un substrat favorable pour la multiplication bactérienne et de plus la présentation finale sera fortement altérée. [38]

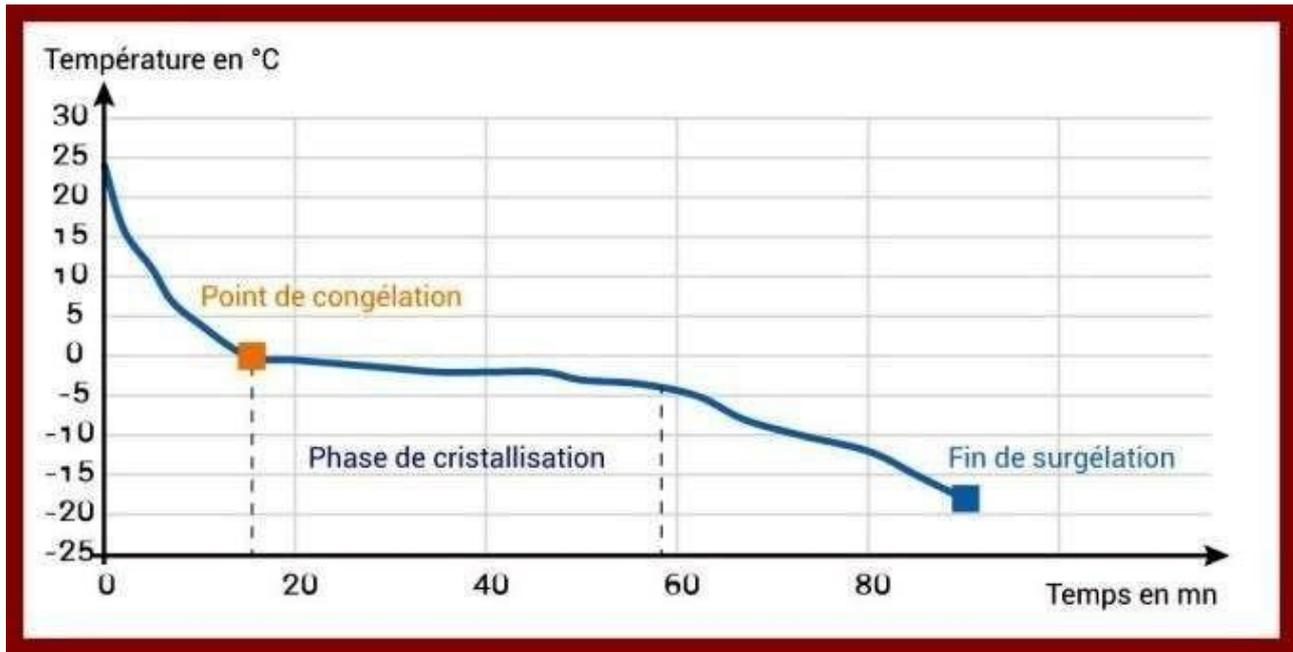


Figure III.1: danger de développement des microorganismes lors du maintien à des températures Positives [46]

Une congélation lente n'assure ni le blocage microbien (danger de développement des microorganismes lors du maintien à des températures positives), ni la stabilité de la structure de l'aliment. [38]

III.5. Action de la température sur les micro-organismes

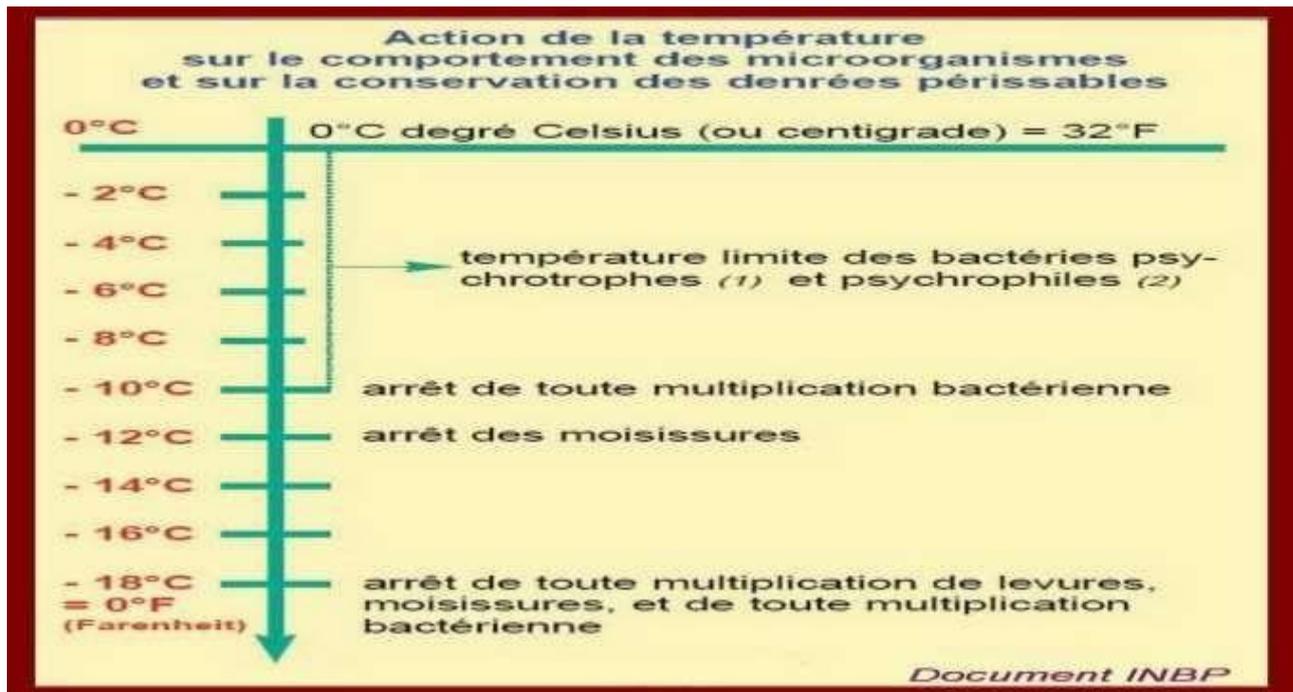
Nota: La congélation ne tue pas les microorganismes. Ceux-ci sont seulement "endormis" et se "réveilleront" lors de la décongélation. [38]

On parle de microorganismes psychrotrophes lorsqu'ils sont capables de survivre aux températures de réfrigération couramment utilisées (+ 5°C), leur température optimale de croissance étant généralement plus élevée (+10 à + 25°C).

Un micro-organisme psychrophile ou cryophile est un organisme capable de survivre à des températures négatives. Ils vivent dans les mers polaires ou les abysses (90 % du volume des océans est en dessous de +5 °C), les sols gelés ou dans les glaciers. [38]

Dans la surgélation, le produit est soumis brutalement à une température très basse afin que le centre du produit atteigne très vite la température de - 18°C. [38]

On constate alors la formation d'une multitude de cristaux de petite taille qui présentent moins d'inconvénients que les gros cristaux. [38]



FigureIII.2: Action de la température sur les micro-organismes[52].

La Surgélation est un procédé, qui permet de sauvegarder les caractéristiques de fraîcheur des produits. Mais celle-ci ne peut que stabiliser une situation. Elle ne peut en aucun cas améliorer les qualités gustatives de produits déjà rassis ou dégradés. [35]

Nota: Le Rassisement augmente au fur et à mesure que la température du produit s'abaisse, et se rapproche de 0°C. Il est stoppé à - 18°C). C'est pourquoi, la congélation des produits cuits (Viennoiseries) n'est pas la meilleure solution. [38]

La Surgélation appliquée à la Pâtisserie présente plus d'avantages, car elle est plus rentable et permet une meilleure organisation du travail. [35]

En Viennoiserie, elle permet en surgelant les produits crus, de rationaliser la production. Dans ce cas il est préférable d'utiliser une levure spéciale congélation, qui sera plus résistante. [33]



FigureIII.3: La Surgélation appliquée à la Pâtisserie présente plus d'avantages[46]

III.6. Règles pratiques pour optimiser la congélation

- **Abaisser très rapidement la température** du produit afin de franchir le plus vite possible la zone critique (0°C - 5°C). Utiliser de préférence une cellule de congélation rapide. [38]
- **Congeler un produit frais.** Si la congélation permet de freiner considérablement les réactions biologiques, elle n'a pas pour effet de redonner à un produit les qualités perdues notamment par rassissement. [38]
- **Surgeler le plus souvent possible les produits intermédiaires** et non pas le produit fini, et dans le cas des pâtes, le produit cru et non pas cuit. [38]
- **Ne congeler que lorsque c'est nécessaire.** Il est inutile de congeler des produits qui se conservent très bien à l'air libre comme les coques de meringue ou même certains biscuits.
- **Il faut noter que les produits qui contiennent de la matière grasse** se congèlent mieux que les autres. Entre autres raisons, ces produits conservent mieux leur humidité.
- **Eviter le dessèchement.** Pour cela, il faut emballer, dès qu'ils ont durci, les produits dans des boîtes qui évitent le dessèchement et la prise d'odeur et de goût. En effet, plus la température est basse, plus l'air est sec. [38]
- **Dater les lots de produits** afin de pratiquer une bonne rotation des stocks. Les premiers produits congelés doivent être les premiers sortis. C'est la règle FIFO (*en anglais First In, First Out*). [38]

- **Limiter les ouvertures de porte** et tout ce qui entraîne une élévation de la température. Indépendamment des risques liés à une décongélation partielle, l'ouverture des portes fait rentrer de l'air chaud dont l'humidité va se fixer sur l'évaporateur et diminuer son rendement.
- **Bien veiller au dégivrage** qui se fait normalement par programmation et au nettoyage des enceintes.
- **Ne pas conserver dans un même compartiment** des produits qui ont des odeurs fortes (par exemple l'orange) avec d'autres qui ont la capacité de les fixer (beurre, crèmes riches en matières grasses...).
- **Décongeler avec une technique adaptée:** Lorsque l'on dispose de temps, la décongélation peut se faire lentement au réfrigérateur.

Pour une remontée en température rapide, on peut utiliser le four micro-ondes, mais pour un produit homogène il faut utiliser de faibles puissances avec de brefs intervalles, sinon il y aura des variations de vitesse de décongélation entre les différentes parties. [38]

III.7. La cellule de surgélation rapide

Sa puissance frigorifique élevée, accompagnée d'une ventilation intensive, assure la surgélation des produits, dans les durées les plus brèves. [38]



Figure III.4: La cellule de surgélation rapide [51].

III.8. Avantages et Inconvénients de la congélation

a.La congélation:

est basée sur le fait que lorsque la température baisse jusqu'à -18 -25 ° C, pratiquement toute activité des micro-organismes ainsi que l'action des enzymes dans les produits sont stoppées. C'est une méthode de conservation répandue car elle permet de préserver en grande mesure les propriétés organoleptiques et la valeur nutritionnelle des produits. L'inconvénient est la nécessité de maintenir constamment des températures très basses lors de la conservation des aliments. La congélation peut être utilisée (avec quelques exceptions tout de même), pour presque tous les types de produits d'origine végétale et animale. [38]

Avantages : Méthode relativement facile, peu d'équipement spécifique nécessaire à part un congélateur, peu de risque bactériologique (si la chaîne du froid bien maintenue) et une conservation quasi totale des nutriments.

Inconvénients : nécessité de veiller à une chaîne du froid continue et maîtrisée, coût énergétique élevé, procédé qui n'est pas envisageable pour tous les aliments, spécialement pour certains fruits et légumes car leur texture se dégrade beaucoup (exsudation). [38]

stérilisation:

La stérilisation est un processus consistant à porter nos produits, préalablement disposés dans un récipient hermétiquement fermé, à une température de minimum 100 - 140 ° C pendant une durée suffisante pour détruire complètement tous les micro-organismes qui peuvent provoquer une détérioration. La stérilisation, ainsi que la pasteurisation, c'est-à-dire le chauffage à des températures inférieures à 100 ° C, sont les méthodes principales et les plus répandues de conservation, surtout dans l'industrie. [38]

Avantages : longue durée de vie du produit (si la stérilisation est menée dans de bonnes conditions), stockage des conserves à température ambiante donc économe en énergie, préservation relative du goût des aliments. [38]

Inconvénients : technique relativement risquée, une stérilisation mal réalisée peut devenir très dangereuse (intoxication au *Clostridium botulinum*, etc.), nécessité d'avoir un minimum de matériel (bocaux, joints neufs, étuve ou très grande casserole pour la montée en température), perte des [38] vitamines. [38]

fermentation:

Lors de la fermentation, grâce à l'action des micro-organismes en milieu anaérobie (sans oxygène), les sucres (essentiellement des fruits et légumes) sont transformés en acides (acide lactique). L'acide lactique, une fois que sa concentration est supérieure à 0,7%, a un effet conservateur et inhibe ou arrête l'activité vitale de tous les microbes. Parfois, des cultures pures de bactéries lactiques sont utilisées pour la fermentation, mais le plus souvent, la fermentation est effectuée naturellement en raison de la microflore contenue sur les fruits ou légumes eux-mêmes. Il est recommandé de conserver les aliments fermentés à des températures de 0 à 5 °C. [38]

Avantages : facile, déclinable à l'infini grâce à de nombreuses recettes ou associations de légumes et fruits entre eux, valeur nutritive des aliments lactofermentés (vitamines préservées, probiotiques), coût énergétique nul.

Inconvénients : le goût original du produit est transformé, et le goût acide caractéristique en résultant peut ne pas plaire à tout le monde. Procédé utilisable seulement pour les fruits et les légumes. [38]

d.Fumage:

Lors du fumage, l'effet antiseptique des produits formés dans la fumée lors de la sublimation du bois (phénols, formaldéhyde, créosote, acide acétique) permet d'obtenir des produits fumés pouvant se conserver longtemps. Le fumage est utilisé pour la viande et le poisson, qui sont de plus généralement présalés. [38]

Avantages : un parfum et un goût très agréable.

Inconvénients : difficile à réaliser à la maison car ce procédé nécessite un équipement spécial. Lorsque le fumage est mal conduit, les produits fumés peuvent présenter des risques pour la santé en raison de dépôts d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) qui sont des substances cancérigènes. [38]

e. Conservation avec du sucre

La présence de sucre à des concentrations élevées (pas moins de 60 à 65%, selon le type de produit) crée une pression osmotique élevée dans la solution. Dans ce cas, non seulement l'absorption des nutriments par les microbes devient impossible, mais les cellules microbiennes elles-mêmes sont également soumises à une plasmolyse, une déshydratation sévère. Cette méthode est utilisée pour conserver essentiellement des fruits (confiture, gelée, etc.). [38]

Avantages : il est possible de décliner ces préparations selon une multitude de recettes (ajout d'épices, d'aromates).

Inconvénients : le goût et la texture originelle des aliments sont modifiés, la qualité diététique aussi (ne pas manger trop gras, trop salé, trop sucré). [38]

conservation avec des produits chimiques:

Il y a plusieurs manières de réaliser des conserves à l'aide de produits chimiques comme par exemple : le marinage, le salage, l'addition de sulfites ou l'utilisation des acides benzoïque et sorbique. [38]

-Le marinage se fait principalement avec de l'acide acétique, qui a un effet conservateur sur les fruits et légumes à des concentrations de 1,2 à 1,8% ; le poisson et parfois aussi la viande sont également marinés. [38]

-Le salage se fait en utilisant du sel de table en concentration élevée (dans la viande - jusqu'à 10-12%, poisson - 14%, pâte de tomate salée - 10%, etc.). [35]

-La sulfitation est la méthode de traitement des fruits et des légumes acides (par exemple, les tomates) en les traitant avec de l'anhydride sulfureux, de l'acide sulfureux et des sels.

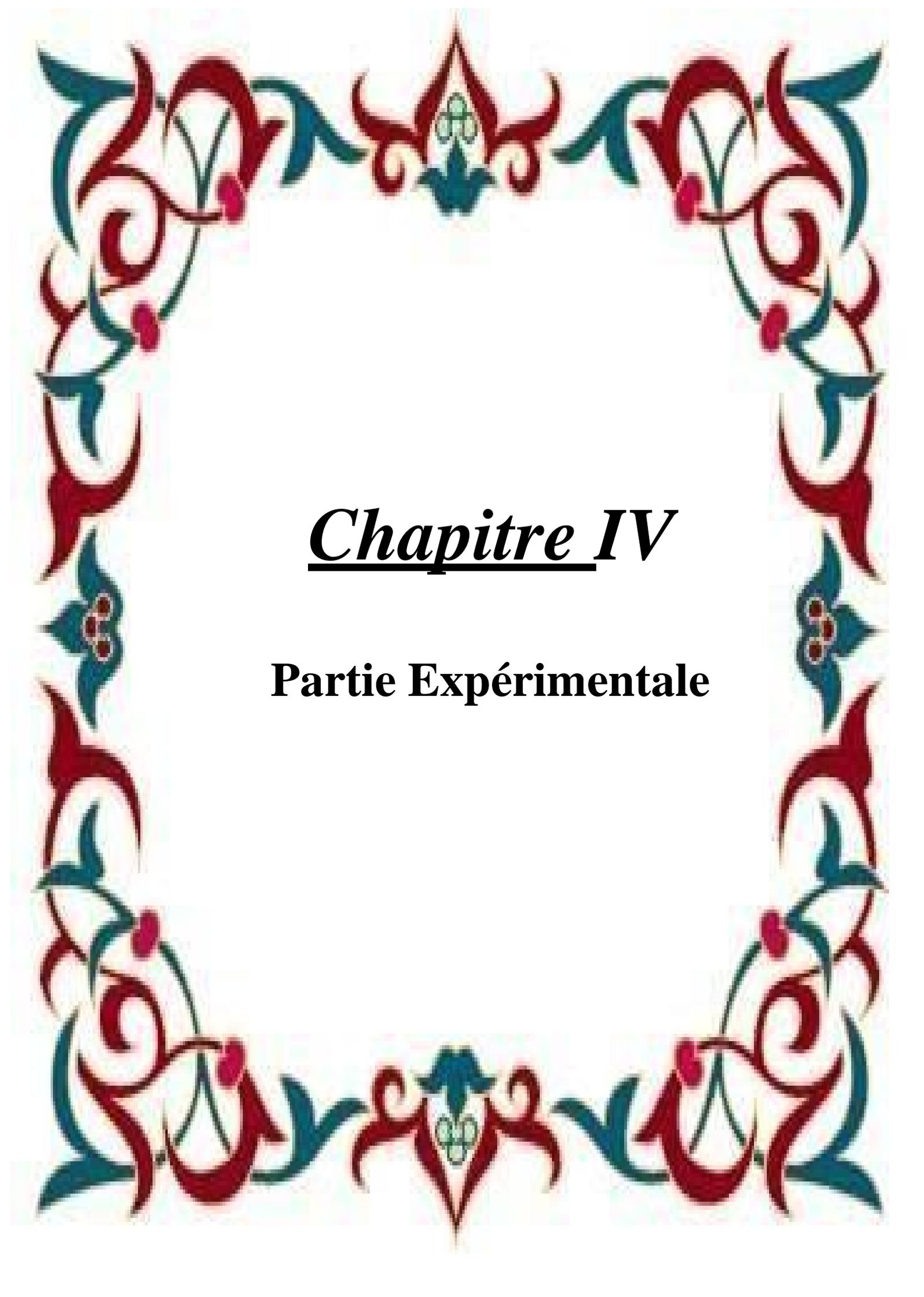
L'anhydride sulfureux est toxique pour l'homme, mais il se volatilise facilement lorsqu'il est chauffé et est éliminé des produits sulfurés par ébullition. On utilise également de l'acide benzoïque et du benzoate de sodium, l'acide sorbique et ses sels, qui sont inoffensifs pour le corps humain, et certains antibiotiques, principalement la nisine et la tylosine. [35]

Avantages: Durabilité de la conservation

Inconvénients: le goût est modifié, la qualité diététique est généralement dégradée

Conclusion

La technologie de conservation est une technique par laquelle la validité de la viande et ses propriétés nutritionnelles sont préservées, car il existe de nombreux moyens par lesquels la viande est conservée, parmi ces méthodes, nous avons le séchage, le recrutement et la mise en conserve, ou la congélation est une technique par laquelle le produit est transformé à l'état solide en le congelant. Cette technique présente à la fois des avantages et des inconvénients. [20]

A decorative border with a repeating pattern of stylized red and teal leaves and flowers, framing the central text.

Chapitre IV

Partie Expérimentale

IV.3. Définition de séchage solaire

La conservation de la viande par le séchage, qui est le sujet de Notre expérimentation, a consisté à sécher la viande dans un séchoir solaire indirect, fonctionnant en mode forcé ou naturel, construit au niveau de l'URER/MS(unité de recherche Adrar) par les chercheurs de l'équipe de séchage solaire. De la qualité des produits finis du point de vue physico-chimique, microbiologique et organoleptique. [2]

IV.4 MATERIELS

IV.4.1 Matériels biologiques (viande)

La viande utilisée comme matière première est achetée du marché Tulloline de la ville de Anzgmier été préférée car la plus consommée, et la moins chère.



Photo N°1: La viande commercialisée au niveau du marché de tulloline

IV.4.2 Matériel de laboratoire :

Dans le cadre de la réalisation de cette étude, plusieurs matériels ont été utilisés. Il s'agit notamment : Pour la conduite de l'enquête et le suivi des procédés traditionnels de fabrication.

a.kaddid:

- Des fiches d'enquête utilisées pour la collecte des informations.
- Un peson à ressort de 25 Kg, utilisé pour la pesée de la matière première dans la fabrication du kaddid.
- Un ordinateur portable utilisé pour la saisie du document ;
- Un appareil photo numérique pour la prise des photos utilisées dans le cadre de ce travail.

b. Pour les analyses biochimiques, les matériels suivants ont été utilisés

- une spatule pour le prélèvement du broyât.
- une balance électronique de marque « sartorius » d'une précision de #177; 0,001g utilisée pour la pesée du broyât de kaddid.
- des creusets destinés à recevoir les broyats des produits qui seront portés au four ou à l'étuve.
- Une étuve pour le séchage des produits à analyser.
- Un broyeur électrique ayant servi à broyer les produits.
- Un dessiccateur utilisé pour le refroidissement des produits à analyser.
- Un four utilisé pour la calcination des produits à analyser.
- Des cartouches d'extraction de la matière grasse.
- Du papier hygiénique ayant servi à emballer les produits à analyser.
- Un four utilisé pour la calcination des produits à analyser.
- Des cartouches d'extraction de la matière grasse.
- Du papier hygiénique ayant servi à emballer les produits à analyser.
- Des Soxhlet utilisés dans le dispositif d'extraction de la matière grasse.
- Des ballons d'extraction destinés à recueillir la matière grasse.

c. Pour les analyses microbiologiques, nous avons fait recours aux matériels ci-après

- Des tubes à essai avec bouchon et des portoirs.
- Des pipettes de 1 et 10 ml pour la répartition des dilutions dans les tubes à essai et des milieux de culture dans les boites de pétri.
- Un autoclave utilisé pour la stérilisation des milieux de culture et de certains matériels.
- Un bain Marie utilisé pour la préparation et la liquéfaction des milieux de culture solides.
- Une étuve utilisée pour la culture des germes après ensemencement.
- Un four utilisé pour le séchage et la stérilisation des tubes, pipettes et des boites de pétri.
- Une balance de marque « Harvard Trip » utilisée pour la pesée des produits.
- Des poids divers, variant de 100 mg à 50 g.
- Des éprouvettes graduées de 100 et 250 ml.
- Des ballons utilisés pour la reconstitution des milieux de culture.

IV.5 METHODES

IV.5.1 Préparation de l'échantillon

Après l'achat de la viande. Sur une table et avec un couteau la viande découpée en morceaux en forme de parallélépipède de rectangle de 0,5 cm d'épaisseur (de hauteur), de 5 cm de longueur et de 2,5 cm de largeur, soit un volume de 6,25 cm³.



Photo N°:02. Préparation de la l'échantillon

IV.5.2 SECHAGE SOLAIRE DE LA VIANDE :

Après prétraitement (le salage) la viande nature est mise directement au séchoir solaire et partie séchée a l'air pour le séchage direct et indirect et suivi la cinétique de séchage.



Photo N°:3 séchoirs photo séchage solaire

IV.5.3 Les analyses des produits finis (viande séché)

IV.5.3.2. Les analyses physico-chimiques

a. Détermination de la teneur en eau (NFV03-921)

a.1.Principe

La teneur en eau d'un produit se traduit par la perte d'une masse suite à une dessiccation.

a.2.Mode opératoire

Une prise d'essai de 2 g mise dans une capsule a masse connue est placée dans une étuve à 105 °C pendant 2 h, après l'étuvage, elle introduite dans le dessiccateur. Suite à un refroidissement, une procédé de peser a été fait, on a recommencé l'opération jusqu' à l'obtention d'une masse constante.

La teneur en eau exprimé en % massique est donnée par la formule suivante:



Photo N°:4.Détermination de la teneur en eau

La teneur en eau est calculée selon la formule suivante:

$$H\% = \frac{(M_1 - M_2)}{P} \cdot 100$$

Où

M₁: est la masse de capsule + matière fraîche avant étuvage

M₂: est la Masse de l'ensemble après étuvage

P : est la prise d'essai

b. Détermination de la teneur en matière grasse (NFENISO 734-1, 2000)

b.1.Principe

Le principe consiste à effectuer une extraction par solvant organique à l'aide de dispositif Soxhlet d'une capacité de 250 mL. La farine est épuisée en matière grasse par le passage des solvants. On estime qu'une extraction est totale about de 6 heures.

Une fois l'extraction terminée les solvants sont éliminés à l'aide d'un Rota vapeur.

Cette extraction repose sur le principe suivant : les composés polaires comme les corps gras sont insolubles dans les composés polaires comme l'eau, mais solubles dans les solvants apolaires tels que l'hexane. Le point d'évaporation de l'hexane étant inférieur à celui des matières grasses à extraire, il est donc très facile de les séparer par chauffage.

b.2. Mode opératoire

- Peser 26 g de Viande-en à divise la quantité en trois échantillons.
- Introduire l'échantillon dans une cartouche en cellulose qui est perméable l'eau solvant et la couvrir avec du coton.
- Mettre la cartouche dans l'appareil extracteur de "Soxhlets".Ce dernier est muni d'un réfrigérant par le haut, d'un ballonnet d'un chauffe ballon par le bas.
- Verser la quantité nécessaire de solvant (150mL d'hexane).
- Conduire le chauffage dans des conditions stèles que le débit dure flux soit au moinsde 3gouttes à la seconde.
- Le solvant va s'évaporer puis réfrigérer, et le liquide tombe sur la substance à épuiser d'une façon ace que la cartouche soit immergée. Lorsqu'à la partie intermédiaire est suffisamment remplie de solvant, le siphon s'amorce et le solvant contenant la substance à extraire retourne dans le ballon chargé en lipides.
- Après la durée nécessaire (pendant 6 heures), on récupère la cartouche, d'une part, et le solvant et l'extrait, d'autre part.
- La solution obtenue est passée dans le Rota vapeur pour chasser par distillation la majeure partie du solvant, ce qui permet de récupérer les lipides seuls (la température d'ébullition des lipides est plus élevée que celle de l'hexane qui s'évapore le premier).
- Eliminer les dernières traces du solvant en chauffant le ballon pendant 20 min à 103°C.
- Peser le ballon.



Photo N°:5 L'étape de matière grâce par la méthode de la soxlet.

b.3. Expression des résultats

La teneur en matière grasse est déterminée selon la formule suivante:

Soit

$$MG \% = \frac{(P_2 - P_1)}{P_3} . 100$$

P1:Poids du ballon vide (g).

P2:Poids du ballon avec l'huile extraite (g).

P3:Masse de la prise d'essai(g).

c. Teneur en cendres (AFNORV03-922).

On entend par "cendres brutes "le résidu obtenu après incinération à $550^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$.

c.1. Principe

Incineration du produit avant et pares le séchage à $550 \pm 15^{\circ}\text{C}$ dans un four à moufle à chauffage électrique jusqu'à masse pratiquement constante [53].



Photo N°:6. Incinération

Tableau .III.1: Résultat des Incinération de chaque produit

	1	2	3
Viande Fraiche	20.440	18.837	20.262
Viande congelée	36.542	17.407	20.324
Viande Séché	23.729	23.397	24.535

c.2. Expression des résultats:

Le pourcentage en masse de cendres brutes est exprimé par la formule suivante :

$$\text{Teneur en cendre \%} = \frac{M_2 - M_0}{M_1 - M_0} * 100$$

m₀:masse en grammes de la capsule d'incinération.

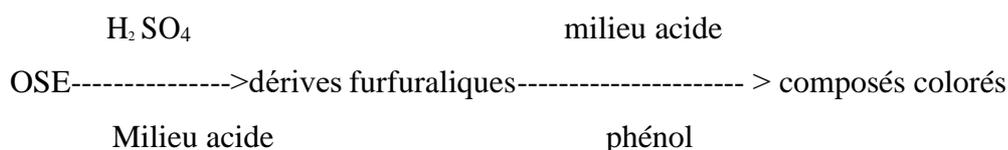
m₁:masse engramme de la capsule d'incinération chargée de la prise d'essai.

m₂:masse engramme de la capsule d'incinération chargée des cendres.

d. Détermination de la teneur en sucres :

d.1. Principe

La méthode de dosage des sucres réducteurs par le réactif au phénol sulfurique a été fait selon la le protocole de Dubois et al; permet de déterminer la concentration du produit en sucres :



d.2. Mode opération

d.2.1. Préparation de l'échantillon

On a mélangé 1g de produit avec 300ml d'eau distillée et 3 g de CaCO₃ (bicarbonate de calcium), puis le mélange subit un chauffage pendant 30mim jusqu' à ébullition avec le maintien d'agitation. Après le refroidissement du mélange, on lui ajouté l'eau distillé jusqu' a un litre de solution de notre produit et une quantité d'acétate de plomb. [3]

d.2.2. Filtration

La 1^{ere} filtration a pour but d'éliminer les protéines par l'acétate du plomb après cette opération on a ajouté une petite quantité d'oxalate de potassium. [10]

d.2.3. 2^{ème} filtration

Le but de la 2^{ème} filtration est d'éliminer le plomb précipité par l'oxalate de potassium

d.2.4. Le dosage

après la 2^{ème} filtration , on a eu un extrait filtré du quel on a pris 1ml qu'on le mélange avec 1ml de phénol (5%) et 5ml de H₂SO₄ concentré avec le maintien d'agitation, puis on a lu la D.O du témoin et de l'échantillon.

Pour pouvoir calculer la concentration en sucres réducteurs de l'échantillon utilisé on a préparé différentes concentrations de glucoses (hexose) et d'arabinose (pentose) dont leur D.O est respectivement lues a 490nm. Et 485nm.

Les concentration pour les deux sucres sont les suivantes :0.01%,0.02%,0.1%,0.2%,0.5%,1%.

Par un simple calcul, on a pu avoir la concentration en hexose et pentose de notre échantillon. [9]

Remarque :

Le témoin est composé de 1ml d'eau distillée, 1ml de phénol (5%) et 5ml de H₂SO₄ concentré.

e. La teneur en protéines brutes (AFNORV18-100).

e.1.Principe

La méthode utilisée est la méthode KJELDAHL[6] consistante :

- La minéralisation de la matière organique par l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur approprié.
- L'alcalinisation des produits de la réaction.
- La distillation et titrage de l'ammoniac libéré

e.2. Mode Opérateur

-Introduire dans un matras de minéralisation 1g d'échantillon ajouter une pincé de catalyseur (sulfate de cuivre et de potassium) ;

-Ajouter 15ml d'acide sulfurique pur ;

-Utiliser un chauffage progressif ; d'abord une attaque à froid pendant 15mn jusqu' à l'apparition de vapeur blanche d'anhydride sulfurique, puis le chauffage est rendu plus énergique, attaque à chaud pendant 4 à 5 heures ; [10]

-Quand la solution devient limpide, elle est refroidie et complétée à 100ml avec de l'eau distillée;

-La distillation se fait dans un distillateur automatique (VELP) ou l'ajout de 20ml de lessive de soude a 35% dans le matras et 25% d'acide borique dans une fiole de 250ml est réalisée;

-Le dégagement d'ammoniac est récupéré dans une solution d'acide borique contenant l'indicateur coloré (mélange de bleu de méthylène et rouge de méthyl). L'excès d'ammoniac est alors dosé par l'acide sulfurique 0.05N dans un titrateur automatique.

NB: U. témoin est réalisé dans les mémés conditions sans échantillon.

e.3. Expression des résultats

La teneur en azote total est déterminée par la formule suivante:

$$N\% = \frac{v}{v'} \cdot (N - N') \cdot 0.05 \cdot 1,4$$

$$P$$

Soit:

V: Solution minéralisation et complétée à 100ml;

V': Solution de la soude ajoutée 20ml;

N: La quantité d'acide sulfurique lue après titration;

0.05: Normalité d'acide sulfurique;

P: Masse de la prise d'essai 1g;



Photo N°:7. minéralisation

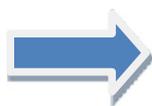


Photo N°:8. distillation



Photo N° :9. Titrage

f. Détermination du potentiel d'Hydrogène

La détermination du pH est réalisée pour chaque échantillon de viande cameline et ovine traitée ou non par l'eau distillée stérile ou les deux acides.

A partir d'un mélange résultant du broyage de 10g de viande dans 90 ml d'eau distillée, le pH est obtenu à l'aide d'un pH-mètre préalablement étalonné en introduisant l'électrode dans l'homogénat. La lecture du pH est faite directement sur l'échelle de l'appareil, à 0,05 unité pH près. L'opération est répétée trois fois. Les résultats sont exprimés en moyenne arithmétique des trois valeurs obtenues pour chaque échantillon [3]



Photo N°:10 déterminations du pH

IV.6 Analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques des aliments ont été réalisées selon les normes algérien en vigueur relatives à chaque microorganisme. L'interprétation des résultats a été faite selon l'arrêté conjoint n°624-04 Safar 1425 (8 avril 2004) publié au bulletin officiel N°5214-30 rabbi 1-1425 (20-5-2004) relatif aux critères microbiologiques d'usage pour les aliments [10]

IV.6.1 Préparation des échantillons

10g de l'échantillon est homogénéisé dans 90 ml d'eau peptone stérile. Une série de dilution décimale est réalisée afin de dénombrer la population microbienne, suivie d'un ensemencement des

différents milieux de cultures. Ces analyses ont été réalisées dans le laboratoire régional de diagnostic épidémiologique et d'hygiène du milieu de Fès (LRDEML). [9]

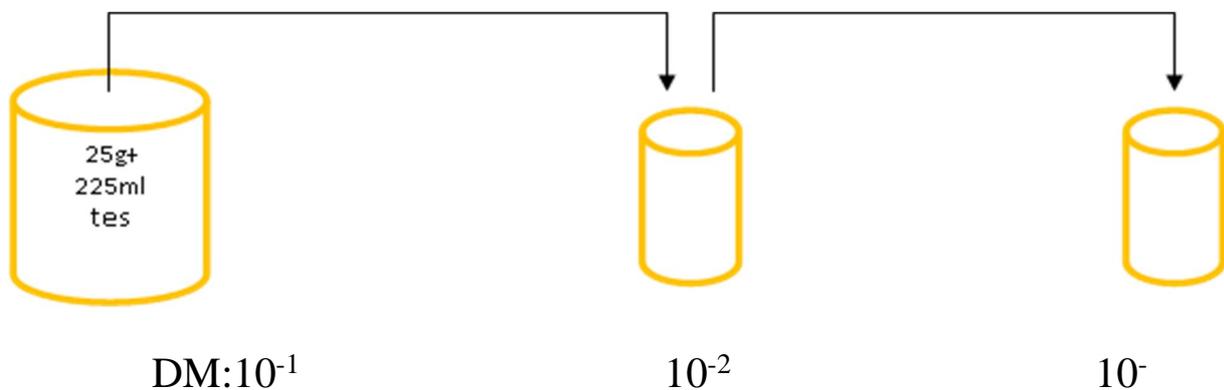


Photo n°11 : Préparation du milieu de culture

IV.6.2. Dénombrement de la flore mésophile aérobie totale FMAT (NM 0.8.121,2004)

La méthode utilisée est l'ensemencement par incorporation à la gélose PCA qui consiste à dénombrer les microorganismes viables présents dans l'échantillon. Elle s'effectue en semenant 1mL de chaque dilution dans une boîte de pétri à laquelle est ajoutée de la gélose PCA, maintenue liquéfiée à environ 45°C. Les boîtes de pétri sont ensuite agitées doucement afin de répartir uniformément les bactéries dans toute la boîte. Le milieu de culture étant non sélectif, toutes les espèces de bactéries aérobies peuvent croître et ainsi être dénombrées.

L'incubation des boîtes est effectuée à 30°C pendant 24 à 48h pour dénombrer les microorganismes revivifiés. Les résultats sont exprimés en UFC/g (unité formant des colonies). [7]

A partir des dilutions décimales

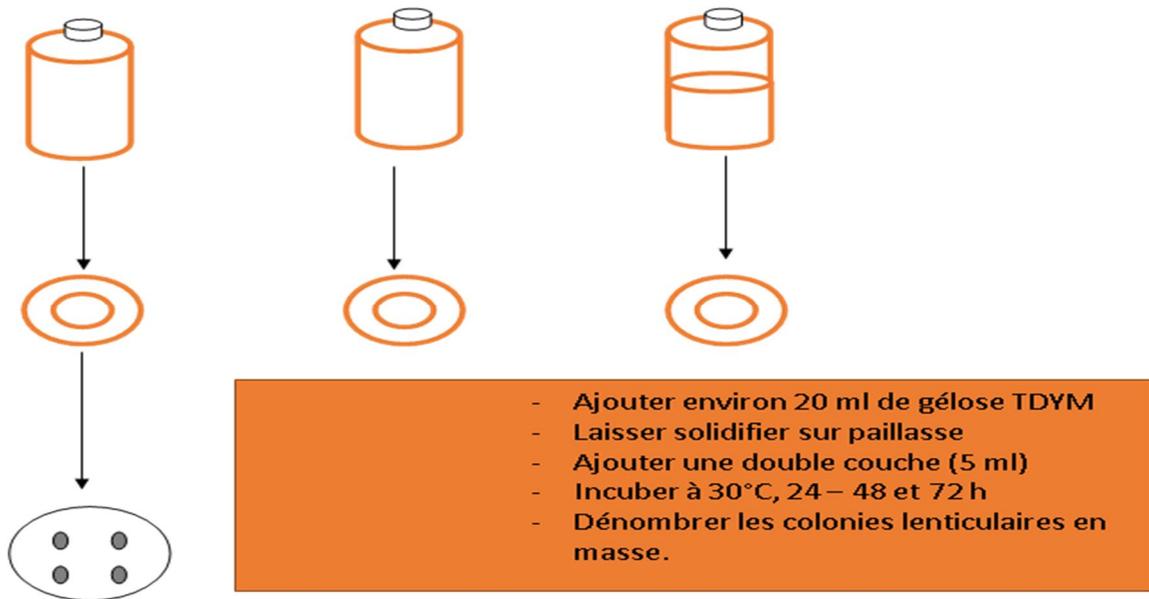


Photo n°12: Les coulages de Boite pétrie.

IV.6.3. Dénombrement des coliformes totaux et fécaux :

La méthode utilisée est le dénombrement par incorporation à la gélose DL. Pour les coliformes fécaux, l'incubation est réalisée à une température de 44°C (NM 08.0.124 ,2004) pendant 24 à 48h. Contrairement, aux coliformes totaux qui sont incubées à 30°C (NM ISO4832, 2004) pendant 24 à 48h. Les colonies rouges sont dénombrées et les résultats sont exprimés en UFC/g. [12]

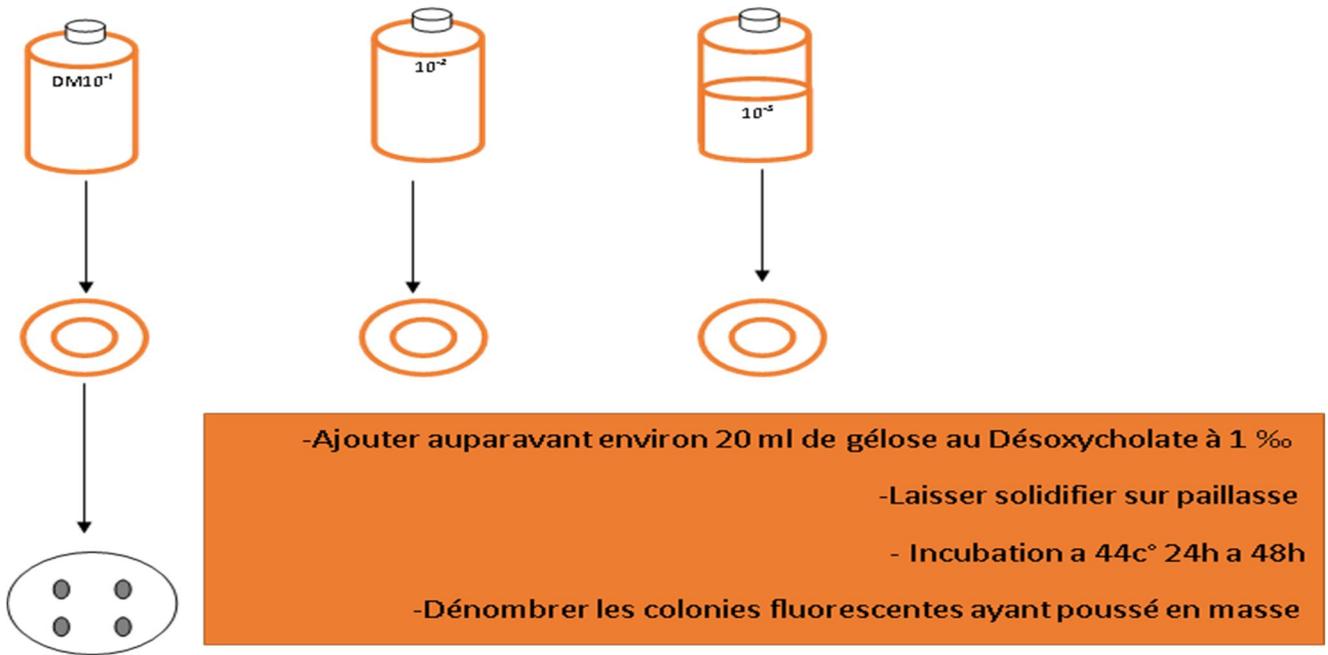


Photo N°13: Recherche et dénombrement des coliforme

IV.6.4 Dénombrement de *Staphylococcus aureus* (NM ISO 6888, 2004)

Le dénombrement de *S. aureus* est réalisé par ensemencement à la surface de la gélose BP de 0,1 ml de l'échantillon à analyser et de ses dilutions décimales, suivi d'une incubation à 37°C durant 24 à 48h. *S. aureus* est caractérisé par la formation de colonies noires (réduction du tellurite en tellure), brillantes, convexes, entourées d'un halo d'éclaircissement du jaune d'œuf (2à 5 mm de diamètre, correspondant à une protéolyse). A l'intérieure des halos, il peut apparaitre une zone opaque due à l'action d'une lécithinase. Les colonies caractéristiques et/ou non caractéristiques, sont ensemencées sur bouillon BHI et incubées à 37°C pendant 24h. Ensuite le recherche de la coagulase est réalisée en utilisant le plasma de lapin lyophilisé pour confirmer le pouvoir pathogène. Les staphylocoques à coagulase négative ne sont pas des *S. aureus*. [12]

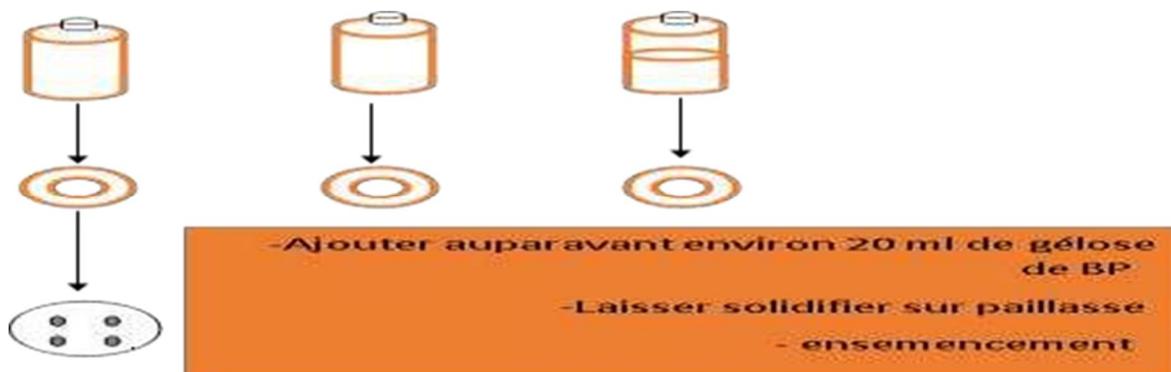


Photo N°.14: ajoutée de la gélose

RÉSULTATS ET DISCUSSION

IV.7. Cinétique du séchage

-Poide vide

- M_0 : la masse initiale

- **ID**: viande séché indirect.

Tableau .IV.1: cinétique du séchage

	Poide vide	m_0	9:49	10:21	11:28	12:31	13:27	14:23
ID	0.551	0.642	1.189	1.440	1.118	1.037	0.932	1.065
15:23	16:23	8:29	9:32	10:25	11:30	12:27	13:24	14:37
1.033	0.963	0.857	0.840	0.847	0.830	0.825	0.824	0.815

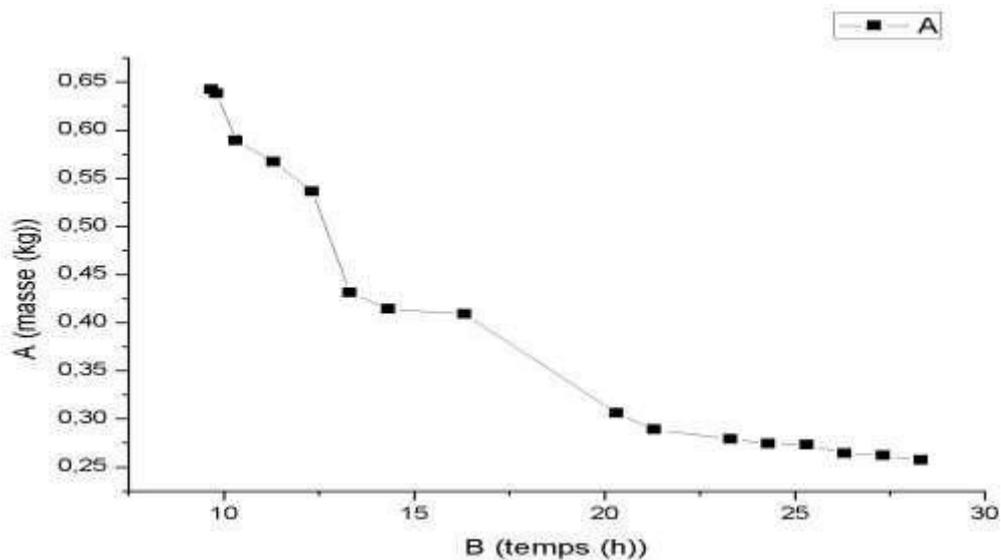


Figure.IV.1:L'evolution de la masse en fonction de temps (24/03/2022)

A partir de la **Figure.1**: le séchage solaire de la viande, on remarque à partir du temps [10-16] une baisse rapide de la courbe et une diminution de la masse de viande de [kg 0.65-kg 0.45] due à la température élevée dans le milieu, ce qui a entraîné une diminution du pourcentage d'eau de la viande séchée, et on remarque également d'après Time [16-25] Une augmentation de la courbe décroissante avec un ralentissement de la descente pour augmenter la diminution de la masse de la viande séchée viande et augmenter la diminution du pourcentage d'eau de celle-ci, sa masse atteignant 0,27 kg; On note également d'après le temps [25-28] que la courbe a atteint un point fixe

Où le poids de la viande séchée a atteint une masse estimée à 0,25 kg et cela est dû au fait que la viande séchée s'est complètement séchée et s'est débarrassée de là l'eau qu'il contenait.

IV.8. Les résultats d'analyses physico-chimiques

Tableau.IV.1 : Les résultats d'analyses physico-chimiques

	Viande Fraiche	Viande Séchée	Viande Congelée
Humidité %	71.46	8.687	99.252
Matière sèche	28.54	91.313	0.748
Matière organique	25.87	75.84	21.333
Matière minérale	2.66	15.46	11.174
Matière grâce	24.21	14.79	22.25
Sucre	0.645	0.195	0.262
Protéine	0.536	0.568	0.546
pH	6.41	6.59	6.50
Acidité	6.315	2.070	1.380

IV.8.1. Détermination de l'humidité (%) (V.F et V.S et V.C).

Tableau .IV.2: Résultat de l'humidité

Produit	V.F	V.S	V.C
Humidité	71.46	8.687	0.748

V.F: Viande Fraiche

V.S: Viande Séchage

V.C: Viande Congelée

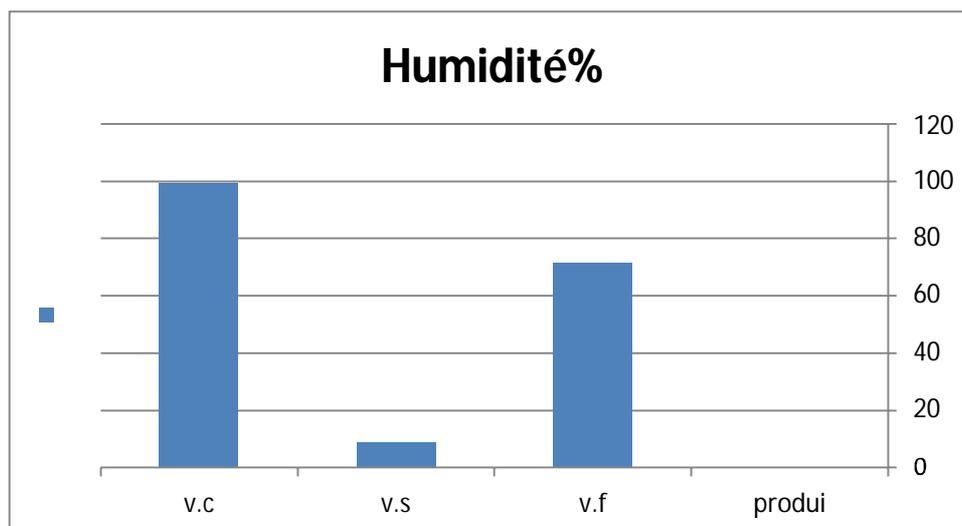


Figure.2: Le taux de la teneur en eau de viande agneau

Les résultats de la teneur en eau ont montré que l'agneau contient une grande quantité d'eau, et ces résultats sont similaires à ceux des scientifiques précédents qui ont trouvé une teneur de 99,25 %, et cette forte teneur en eau a un inconvénient qui rend l'agneau élevé. Périssable et stockage limité à température ambiante, en revanche, la teneur en eau de l'agneau séché des deux modes de séchage est une faible quantité d'eau due à l'évaporation de l'eau lors du séchage solaire, et cette teneur constitue un milieu défavorable aux micro-organismes avariés. D'autre part, une quantité d'eau relativement élevée dans la viande d'agneau ordinaire est due à sa présence importante.

IV.8.2. Détermination de la matière sèche % en (V.Fet V.S et V.C).

Tableau .IV.3: Résultat discussions de la matière sèche (%)

Produit	V.F	V.S	V.C
Matière sèche	28.54	91.313	0.748

V.F: Viande Fraiche

V.S: Viande Séchage

V.C: Viande Congelée

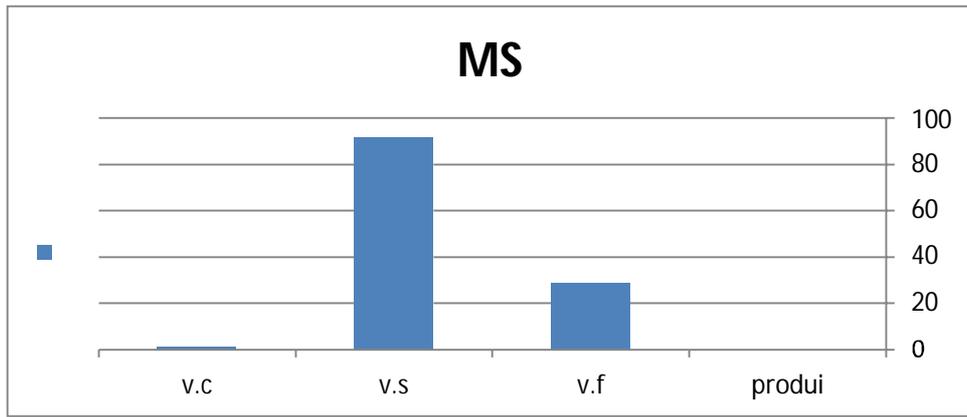


Figure.3: la teneur en matière sèche de viande agneau de trois échantillons

Sur **la figure.3**, on remarque que le résultat en matière sèche de l'agneau séché (91,31%) est important que celui de l'agneau ordinaire (28,54%), mais il est très élevé par rapport à l'agneau congelé (0,748%). Cette différence signifie que la teneur en matière sèche est plus faible dans le cas de l'agneau congelé car il a une teneur en eau plus élevée. Enfin, à partir du processus de séchage, nous voyons que la seule différence entre ces méthodes est la décomposition de la substance lors du séchage.

IV.8.3. Détermination de la matière organique % en (V.F et V.S et V.C).

Tableau .IV.4: Résultat de la matière organique

Produit	VF	VS	VC
Matière organique	25.87	75.84	21.333

V.F: Viande Fraiche

V.S: Viande Séchage

V.C: Viande Congelée

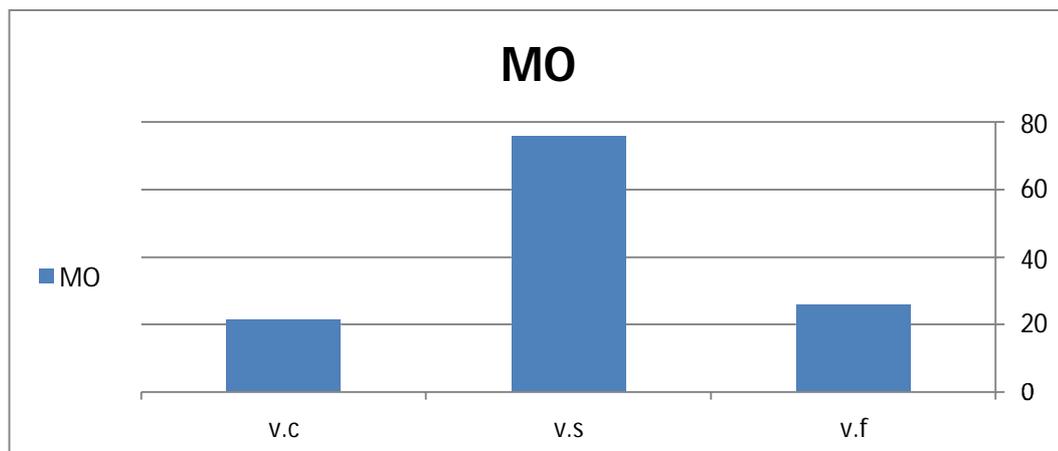


Figure.4: la teneur en matière organique de viande agneau de trois échantillons

A travers la **Figure.4**, on remarque que le taux de matière organique dans l'agneau normal et congelé est relativement proche, comme sa valeur à l'état normal (25,87 %) et sa valeur à l'état congelé (21,33 %) ; alors que le taux de matière organique dans l'agneau séché est élevé (75,84%). C'est la preuve que tous les types de viande sont riches en matière organique.

IV.8.4. Détermination de la matière minimale% en (V.F et V.S et V.C)

Tableau .IV.5: Résultat de la matière minéral

Produit	V.F	V.S	V.C
Matière minérale	2.66	15.46	11.174

V.F: Viande Fraiche

V.S: Viande Séchage

V.C: Viande Congelée

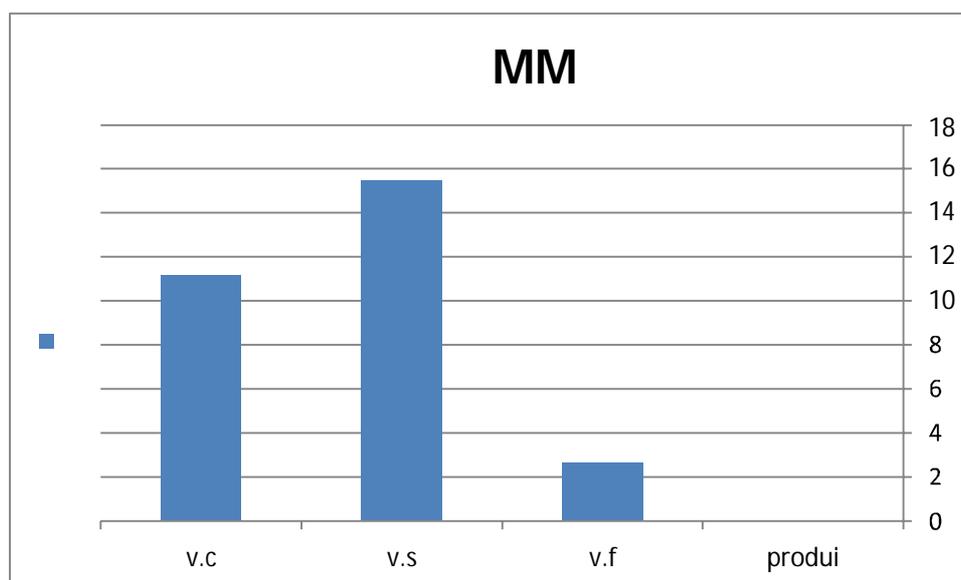


Figure.5: La teneur en matière minérale de viande agneau de trois échantillons

D'après les résultats obtenus, nous concluons que l'agneau contient des biominéraux car ces derniers ont un rôle efficace dans sa conservation. Nous constatons que la proportion de biominéraux dans la viande régulière 2,66 est faible par rapport à la viande séchée 15,46 et la viande congelée 11,174 est. Les membres du comité ont suggéré que nos matières premières minérales contiennent 2,66 % de viande fraîche, 15,46 % de viande séchée et 11,174 % de viande congelée.

IV.8.5. Détermination de la matière grâce % en (V.F et V.S et V.C).

Tableau .IV.6: Résultat de la matière grâce

Produit	V.F	V.S	V.C
Matière grâce	24.21	14.79	22.25

V.F: Viande Fraiche **V.S:** Viande Séchage **V.C:** Viande Congelée

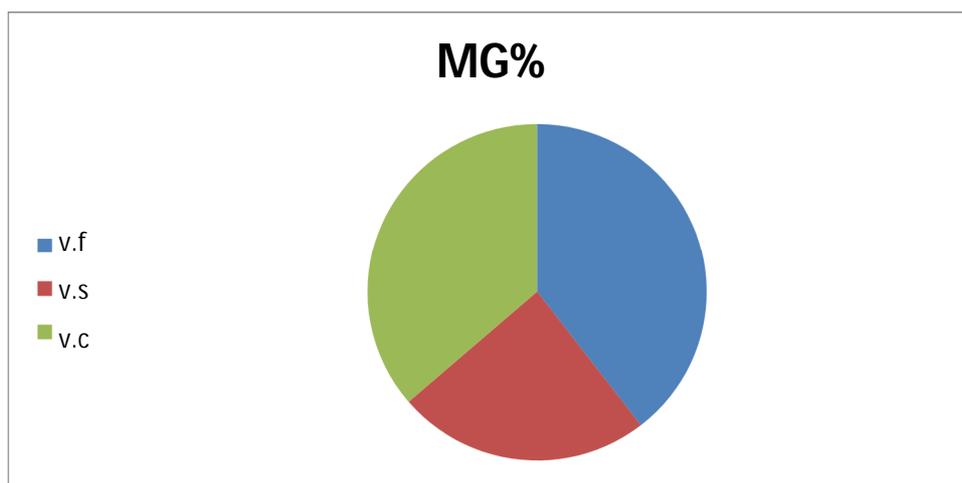


Figure.6: La teneur en matière grâce de viande agneau de trois échantillons

En ce qui concerne les matières grasses, on note la présence de pourcentages de matières grasses proches et significatifs aussi bien dans la viande normale 24,21% que dans la viande congelée 22,25% en raison de la présence de la matière grasse, où l'on constate une diminution du pourcentage de matières grasses dans la viande séchée 14,79 % dû à l'absence de corps gras.

IV.8.6. Détermination de la teneur de sucre% en (V.Fet V.S et V.C).

Tableau .IV.7: Résultat de teneur de sucre

Produit	V.F	V.S	V.C
Sucre	0.645	0.195	0.262

V.F: Viande Fraiche **V.S:** Viande Séchage **V.C:** Viande Congelée

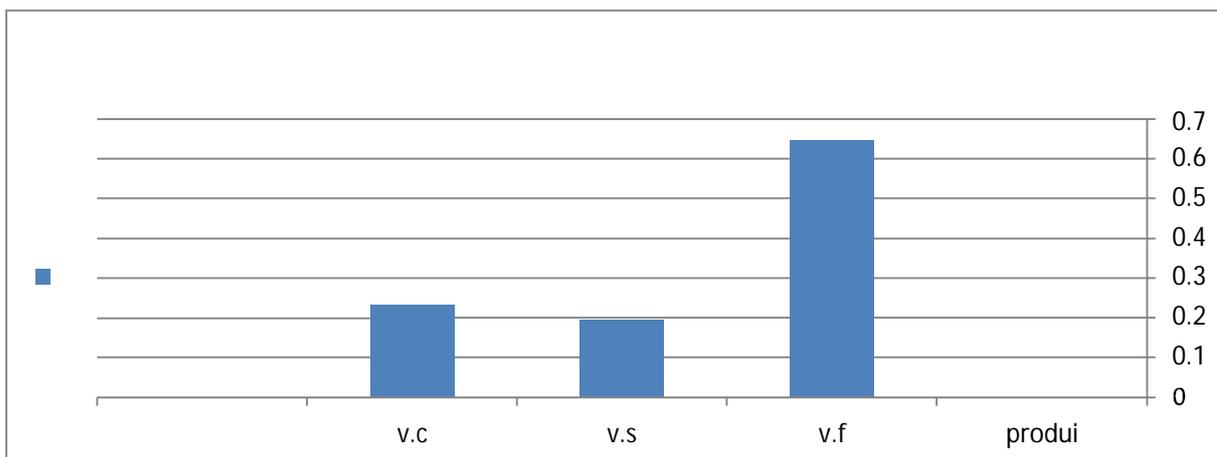


Figure.7: La teneur en de Sucre viande agneau de trois échantillons

Les teneurs en sucres réducteurs de l'agneau diffèrent entre relativement proches en général dans l'échantillon de viande séchée et l'échantillon de viande congelée avec une valeur variant entre 0,195 et 0,262, alors que les teneurs en sucres sont élevées dans l'échantillon de viande normale 0,645. les résultats sont comparables aux résultats préexistants. L'effet cette La teneur des sources est constant entre cultivars, puis entre différents modes de séchage

IV.8.7. Détermination de la L'acidité en (V.F et V.S et V.C).

Tableau.IV.8 : Résultat de l'acidité de la viande de l'agneau

Produit	V.F	V.S	V.C
L'acidité	6.315	2.070	1.380

V.F: Viande Fraiche

V.S: Viande Séchage

V.C: Viande Congelée

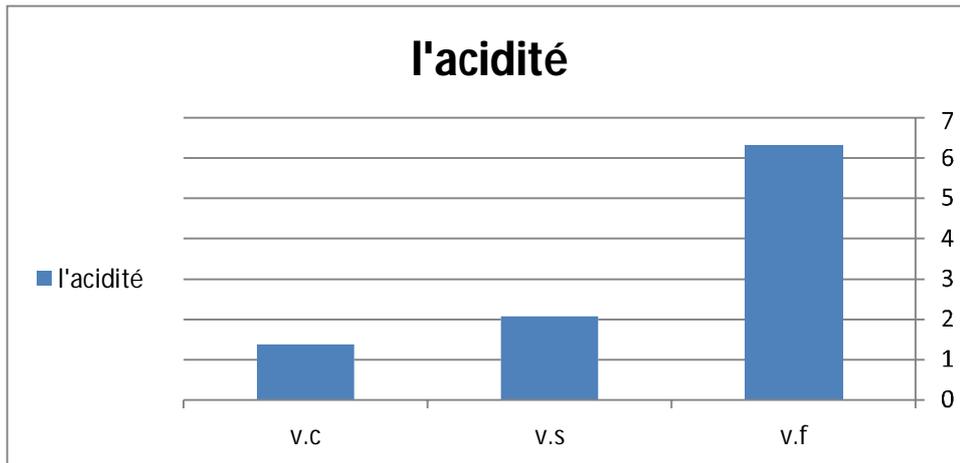


Figure.8: La teneur en de l'acidité viande agneau de trois échantillons

Selon la **Figure.8**, on remarque que l'acidité de la viande régulière, séchée et congelée est acide ; elle est de 6,315 pour la viande régulière, de 2,070 pour la viande séchée et de 1,38 pour la viande congelée. Autrement dit, l'environnement n'est pas propice à la croissance de bactéries pathogènes dans la viande

IV.9. Les résultats d'analyse microbiologie de la viande agneau

Tableau.IV.9 : Résultats d'analyse microbiologie de la viande agneau

Produits	<i>GERMES TOTAUX</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>COLIFOMRE TOTAUX</i>	<i>LEVURES ET MOISSURES</i>
Viande Fraiche	$4.4.10^3$	5.10^2	$1.85.10^2$	Abs
Viande Congelé	$2.97.10^3$	$1.14.10^3$	Abs	Abs
Viande Séché (indirect)	Abs	Abs	Abs	Abs
Viande Séché (direct)	Abs	Abs	Abs	$3.2*10^1$

D'après les résultats microbiologiques, on remarque la présence de bactéries mésophiles totales et de quelques colonies de levures et moisissures dans les échantillons de viande fraîche à un taux élevé à GT($4.4.10^3$) et *staphylococcus aureus* (5.10^2) et CT($1.85.10^2$) et une absences total de les levures et moisissures ,Par rapport à la viande congelée, elle avait un taux relativement faible aux deux GT($2.97.10^3$) et *staphylococcus aureus* ($1.14.10^3$), pour le séchage solaire soit direct ou indirect on note que une absence total pour tous les bactéries pathogènes sauf quelque colonies de Levures moisissures, ce qui confirme que le séchage solaire et moyenne efficace pour éliminer la

Résultats et Discussion

contamination par les agents pathogènes Bactéries. Par contre, l'apparition de quelques colonies de levures et de moisissures dans l'agneau après séchage indirect dans notre séchoir solaire est sur Probablement causé par la poussière dans le séchoir solaire Ou à cause de la peur de la pénétration de ces bactéries. Lors de la collecte ou du transport de l'agneau [2]

Conclusion

L'objectif principal de cette étude pilote est de suivre l'évolution de la perte de masse de la viande d'agneau séchée, et les résultats montrent un pourcentage plus élevé de séchage de la viande qui sèche plus rapidement au niveau de l'étagère qui est en position indirecte. Parce que l'air chaud pénètre le bas du haut. Dans le cadre de cette étude, les résultats de diverses analyses ont montré que l'agneau était riche en eau et apportait une contribution nutritive aux fibres alimentaires, aux sucres totaux, aux minéraux et aux protéines pour le Kansas, alors comparons cela avec l'agneau séché. , il constate que les valeurs nutritionnelles ont un peu diminué. D'autre part, on conclure que les analyses microbiologique prouve que la viande séchés ne contient aucune bactéries pathogènes , donc cette viande apte à la consommation humaine ans risque de contamination.

La technologie de séchage solaire reste un procédé ancien, et est très utile que toutes les autres méthodes de conservation (comme le refroidissement), pour les produits alimentaires d'origine animale, en particulier la viande d'agneau en raison de la longue conservation, de la facilité de stockage ou de conservation à température ambiante et d'éviter la détérioration de la viande due à chauffer pendant la conservation. En effet, notre travail comprenait l'étude théorique et expérimentale du séchage solaire de l'agneau, et nous avons essayé de contribuer à résoudre un problème majeur, qui est la conservation de l'agneau dans la région d'Adrar. Dans la suite de notre travail, nous nous sommes concentrés sur l'influence de certains paramètres sur la cinétique de séchage, ce qui nous a permis de conclure que la température de l'air de séchage, la teneur en eau et la teneur en matière sèche sont les facteurs les plus importants. Travail sur la cinétique de séchage ainsi que sur la variation de la masse de viande à sécher. Sachant que notre objectif principal est de sécher au maximum l'agneau car l'eau est la partie responsable de la décomposition microbienne. Ainsi l'augmentation de la teneur en matière sèche après séchage et un taux d'humidité plus faible permettent de conserver l'agneau le plus longtemps possible afin de répondre aux problèmes de conservation (économiques, sanitaires, etc.) de l'agneau et de sa disponibilité à tout moment. Enfin, des comparaisons ont été faites entre les propriétés physiques et chimiques et Tests microbiologiques de la viande normale et de la viande séchée et de la viande congelée, et des résultats de cette réalisation nous concluons que le séchage moderne est une très bonne technologie par rapport au séchage traditionnel, car il préserve la qualité et la valeur nutritionnelle de la viande et améliore la qualité et la microbiologie pathologique de celle-ci. Propre à la consommation humaine.

Références bibliographiques

- [1] W. Belachi, "Application of solar drying for the conservation of agro-food products," *Magister's Mem. Kasdi Merbah Univ. Ouargla*, 2009.
- [2] L. Akil and B. Ahmed, "REP PCR CHARACTERIZATION OF LACTIC ACID BACTERIA ISOLATED FROM SHEEP ' S MILK IN ALGERIA AND ASSESSMENT THEIR POTENTIAL PROBIOTICS," vol. 20, no. 3, pp. 138–144, 2018.
- [3] A. Mediani, H. Moungar, A. A. Larbi, A. Loumani, W. B. Chaouch, and A. Djaber, "Instrumentation Mesure Métrologie The Isothermal Sorption Measurement and the Isotheric Heats Determinations for the South Algerian Date Varieties," vol. 18, no. 4, pp. 389–396, 2019.
- [4] H. Moungar, A. Azzi, Y. Sahli, and A. Haida, "Monthly fresh water yield analysis of three solar desalination units a comparative study in the south Algeria climatic condition," *Int. J. Heat Technol.*, vol. 36, no. 4, pp. 1330–1335, 2018.
- [5] A. A. Larbi, A. Loumani, A. Mediani, S. Bennaceur, and C. Tigani, "Experimental Measurement of Moisture Sorption Isotherms and Isotheric Heat of Palm Hearts (Jomare) Harvested in the Algerian Sahara Instrumentation Mesure Métrologie Experimental Measurement of Moisture Sorption Isotherms and Isotheric Heat of Palm Hear," no. October, 2019.
- [6] W. Braham *et al.*, "Experimental investigation of an active direct and indirect solar dryer with sensible heat storage for camel meat drying in Saharan environment," *Sol. Energy*, vol. 174, no. September, pp. 328–341, 2018.
- [7] I. SEMMANI, F. ELALOU, A. LOUMANI, and others, "Appréciation microbiologique et physico chimique du Mentha puleguim L avant et après le séchage solaire," universite Ahmed Draia-ADRAR, 2021.
- [8] A. Briki, Z. ZIDANI, H. LAKSACI, and others, "Etude De Séchage Et Caractérisation Physicochimique Et Hygiénique D'un Produit Alimentaire Du Site D'Adrar," UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR, 2021.
- [9] I. B. Nonnecke, "L. 1989. Vegetable Production." Van Nostrand Reinhold. New York.
- [10] B. Wiesenfeld, *Promesses et réalités des énergies renouvelables*. EDP Sciences, 2013.
- [11] M. LAHBARI, "ETUDE ET SIMULATION DU SECHAGE DE L' ABRICOT: APPLICATION A QUELQUES VARIETES DE LA REGION DES AURES," Université de Batna 2, 2015.
- [12] A. universités partiellement ou entièrement de langue française, *La conservation des denrées alimentaires cultivées en climat chaud et humide: actes du premier colloque international de technologie (CIT), Yaoundé, 5-10 novembre 1979*. Association des universités partiellement ou entièrement de langue française, 1980.
- [13] B. Touati, "Modélisation numérique des transferts couplés de chaleur et de masse lors du séchage des feuilles de menthe," *Mémoire Magistère, Cent. Univ. Bechar, Algérie*, 2001.
- [14] O. V. Ekechukwu and B. Norton, "Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology," *Energy Convers. Manag.*, vol. 40, no. 6, pp. 615–655, 1999.
- [15] C. Acket and J. Vaillant, *Les énergies renouvelables: état des lieux et perspectives*. Editions Technip, 2011.
- [16] M. Kouhila, N. Kechaou, M. Otmani, M. Fliyou, and S. Lahsani, "Experimental study of sorption isotherms and drying kinetics of Moroccan Eucalyptus globulus," *Dry. Technol.*, vol. 20, no. 10, pp. 2027–2039, 2002.
- [17] C. L. Wilson, M. E. Wisniewski, C. L. Biles, R. McLaughlin, E. Chalutz, and S. Droby, "Biological control of post-harvest diseases of fruits and vegetables: alternatives to synthetic fungicides," *Crop Prot.*, vol. 10, no. 3, pp. 172–177, 1991.
- [18] S. Bennaceur, B. Draoui, B. Touati, A. Benseddik, A. Saad, and L. Bennamoun, "Determination of the moisture-sorption isotherms and isotheric heat of henna leaves," *J. Eng. Phys. Thermophys.*, vol. 88, no. 1, pp. 52–62, 2015.
- [19] A. M. Goula, T. D. Karapantsios, D. S. Achilias, and K. G. Adamopoulos, "Author ' s personal copy Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp Author ' s personal copy," vol. 85, pp. 73–83, 2008.
- [20] I. Langmuir, "Vapor pressures, evaporation, condensation and adsorption," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 54, no. 7, pp. 2798–2832, 1932.
- [21] C. Nguyen-the and F. Carlin, "The microbiology of minimally processed fresh fruits and vegetables," *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol. 34, no. 4, pp. 371–401, 1994.
- [22] S. V Jangam, C. L. Law, and A. S. Mujumdar, "Drying of foods, vegetables and fruits," *Publ.*

Singapore, 2010.

- [23] E. Nouvelles, I. Seminar, and R. Energies, “ème Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Séchage solaire indirect de la tomate dans les régions arides,” pp. 4–7, 2012.
- [24] P. Gbaha, H. Y. Andoh, J. K. Saraka, B. K. Koua, and S. Toure, “Experimental investigation of a solar dryer with natural convective heat flow,” *Renew. energy*, vol. 32, no. 11, pp. 1817–1829, 2007.
- [25] M. E. A. Slimani, M. Amirat, and S. Bahria, “Study and modeling of heat transfer and energy performance in a hybrid pv/t collector with double passage of air,” *Int. J. Energy a Clean Environ.*, vol. 16, no. 1–4, 2015.
- [26] I. T. Kadim, O. Mahgoub, W. Al-Marzooqi, and others, “Meat quality and composition of *Longissimus thoracis* from Arabian camel (*Camelus dromedaries*) and Omani beef: A comparative study,” *J. Camelid Sci*, vol. 1, pp. 37–47, 2008.
- [27] C. den Berg, “Development of BET-like models for sorption of water on foods, theory and relevance,” in *Properties of water in foods*, Springer, 1985, pp. 119–131.
- [28] S. Naser, G. El-Bahay, and A. W. Moursy, “Studies on camel meat. 1: The effect of age and sex on the component of camel meat,” *J. Arab Vet. Med. Assoc.*, vol. 25, pp. 253–258, 1965.
- [29] S. M. Henderson, “A basic concept of equilibrium moisture,” *Agric. Eng.*, vol. 33, pp. 29–32, 1952.
- [30] M. Kouhila, “Etude expérimentale et théorique des cinétiques de séchage convectif partiellement solaire des plantes médicinales et aromatiques de la région de Marrakech,” 2001.
- [31] M. M. Alkilani, K. Sopian, M. A. Alghoul, M. Sohif, and M. H. Ruslan, “Review of solar air collectors with thermal storage units,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 3, pp. 1476–1490, 2011.
- [32] K. Sacilik, “Effect of drying methods on thin-layer drying characteristics of hull-less seed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.),” *J. Food Eng.*, vol. 79, no. 1, pp. 23–30, 2007.
- [33] N. Wang and J. G. Brennan, “Moisture sorption isotherm characteristics of potatoes at four temperatures,” *J. Food Eng.*, vol. 14, no. 4, pp. 269–287, 1991.
- [34] D. Michel, “Séchoirs Solaires: Théorie et Pratique,” *Les Séchoirs Solaires Théorie Prat*, 1985.
- [35] O. Kricher and K. Kroll, “Technique de séchage, 2 e édition de {\\guillemotleft}Die Wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik.” Springer Verlag (1956){\\guillemotright} Traduite par CETIAT, Orsay, 1963.
- [36] I. T. Kadim, O. Mahgoub, and M. Mbagha, “Potential of camel meat as a non-traditional high quality source of protein for human consumption,” *Anim. Front.*, vol. 4, no. 4, pp. 13–17, 2014.
- [37] S. M. Henderson and R. L. Perry, *Agricultural process engineering*, vol. 79, no. 4. LWW, 1955.
- [38] L. M. Bal, S. Satya, and S. N. Naik, “Solar dryer with thermal energy storage systems for drying agricultural food products: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 8, pp. 2298–2314, 2010.
- [39] J. A. Duffie and W. A. Beckman, “Solar engineering of thermal processes, fourth editio.” John Wiley & Sons, 2013.
- [40] M. Kamoun, “La viande de dromadaire: Production, aspects qualitatifs et aptitudes à la transformation,” *Elev. Aliment. du Dromadaire (Edition Tisser. JL.) Options Méditerranéennes B*, vol. 13, pp. 105–130, 1995.
- [41] M. E. A. Slimani, M. Amirat, I. Kurucz, S. Bahria, A. Hamidat, and W. B. Chaouch, “A detailed thermal-electrical model of three photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid air collectors and photovoltaic (PV) module: Comparative study under Algiers climatic conditions,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 133, pp. 458–476, 2017.
- [42] S. M. Henderson, “Progress in developing the thin layer drying equation,” *Trans. ASAE*, vol. 17, no. 6, pp. 1167–1168, 1974.
- [43] E. J. Quirijns, A. J. B. Van Boxtel, W. K. P. van Loon, and G. Van Straten, “Sorption isotherms, GAB parameters and isosteric heat of sorption,” *J. Sci. Food Agric.*, vol. 85, no. 11, pp. 1805–1814, 2005.
- [44] M. E.-A. Slimani, “Etude d’un séchoir solaire agricole muni d’un capteur solaire de type” PV-THERM”-réalisation d’un prototype et caractérisation,” *Univ. DES Sci. LA Technol. HOUARI BOUMEDIENE*, 2017.
- [45] F. J. Trujillo, P. C. Yeow, and Q. T. Pham, “Moisture sorption isotherm of fresh lean beef and external beef fat,” *J. Food Eng.*, vol. 60, no. 4, pp. 357–366, 2003.
- [46] A. S. Mujumdar and others, *Drying technology in agriculture and food sciences*. Science Publishers, Inc., 2000.
- [47] A. Loumani *et al.*, “Experimental Measurement of Isothermal Sorption, Microbiological and Physicochemical Analysis of Dried Tomatoes Cultivated in Adrar, Algeria,” *J. homepage http//iieta.org/journals/ijdne*, vol. 15, no. 5, pp. 721–728, 2020.

- [48] A. Mediani *et al.*, “The Isothermal Sorption Measurement and the Isosteric Heats Determinations for the South Algerian Date Varieties,” *J. homepage <http://iieta.org/journals/i2m>*, vol. 18, no. 4, pp. 389–396, 2019.
- [49] F. Meriama *et al.*, “Experimental Determination and Modeling of the Moisture-Sorption Isotherms and Isosteric Heat of Tobacco Leaves.,” *Instrumentation, Mes. Métrologies*, vol. 20, no. 5, 2021.
- [50] W. B. Chaouch, A. Khellaf, A. Mediani, M. E. A. Slimani, A. Loumani, and A. Hamid, “Experimental investigation of an active direct and indirect solar dryer with sensible heat storage for camel meat drying in Saharan environment,” *Sol. Energy*, vol. 174, pp. 328–341, 2018.
- [51] R. K. Goyal and G. N. Tiwari, “Performance of a reverse flat plate absorber cabinet dryer: a new concept,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 40, no. 4, pp. 385–392, 1999.
- [52] M. Ould El Hadj, B. Bourasa, S. Moussaoui, and A. Bouras, “Étude comparative de quelques caractéristiques chimiques et,” 2005.
- [53] Y. Jannot, “Du séchage des produits alimentaires tropicaux à la caractérisation thermophysique des solides,” *Habilit. à Dir. des Rech.*, 2006.