

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université A. MIRA – Bejaia



Faculté de technologie

Département des génies des procédés



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de master

En génie des procédés

Spécialité : Génie alimentaire

THEME :

**L'utilisation des micro-ondes pour la transformation de
la pomme de terre**

Présenté par :

MAKDOUD Nora & BOUDJELAL Kenza

Soutenu le : **29/09/2020**

Devant le jury composé de :

M ^{me} BOULEKBACHE L.	Professeur	Encadreur
M ^{me} BEY Z.	Maitre de conférences A	Présidente
M ^r FATMI S.	Maitre de conférences B	Examineur
M ^{me} khaled khodja N.	Maitre de conférences B	Co-encadreur

Promotion 2019/2020

Remerciements

Remerciements

*Tout d'abord nous tenons à remercier notre **ALLAH**, le tout puissant et le miséricordieux, de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour mener à terme notre formation du master.*

*Nous remercions chaleureusement notre co-promotrice **M^{me} Khaled khodja** pour son aide précieuse et ses conseils éclairés dans la direction de notre travail, ainsi que pour sa grande disponibilité et immense gentillesse.*

*Nous remercions **M^{me} Boulkache** d'avoir accepté de nous encadrer.*

Nous remercions les membres de jury avec nos profondes gratitude de l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail et d'avoir accepté de le juger.

En fin à tout les membres de nos familles avec l'expression sincère de nos sentiments de leur soutien et leur encouragement permanents.

Dédicaces

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a
donné la vie, Tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma
réussite, à ma mère,*

A mon père.

Je les remercie autant que je ne remercie personne,

Pour leur amour, soutien et patience.

*J'espère qu'un jour mon bon Dieu me donne l'occasion de les
honorer et rendre ce qu'ils méritent.*

A mes sœurs MAZIGHA, SABIHA, NAIMA et OUNISSA

A mes frères ZOUBIR et SOUFIANE

A mes nièces SARA, NADA MELISSA, DOUAA, AYA

A mon neveu AMIR ABDELLAH

A toute la famille

MAKDOUD

A ma collègue KENZA et sa famille.

A mes adorables amies (KATIA, SAMIRA, DJIDJI et IMANE)

A ceux qui m'ont soutenu de loin et de près

A toute la promotion de Génie alimentaire.

NORA

III. Cuisson et séchage de pommes de terre par micro-ondes :

III.1. La cuisson aux micro-ondes et la cuisson conventionnelle

Plusieurs études ont noté que la cuisson aux micro-ondes des aliments, et notamment de pommes de terre montre des avantages sur le plan organoleptique et nutritif. En effet, le traitement micro-ondes est un traitement relativement rapide, ce qui nous permet de dire que la qualité du produit n'est pas largement affectée. Grâce au temps de chauffage court, les caractéristiques traitées des produits cuits et/ou pasteurisés se rapprochent de celles d'un produit frais : couleur, goût, texture, vitamines [44]. De même, le traitement micro-onde ne modifie pas la valeur nutritionnelle que les autres modes de cuisson. En ce qui concerne les protéines, on observe la même dénaturation que lors de tout autre traitement à la chaleur. Les compositions en graisses ou en acides gras ne sont pas particulièrement modifiées et les phénomènes d'oxydation se développeraient moins que dans le cas d'autres traitements conventionnels. La perte en vitamines (A, E) ne semble pas accentuée par le chauffage par micro-ondes et dans le cas de vitamines hydrosolubles, il y aurait même globalement un effet favorable sur la préservation de celles-ci car le traitement thermique est moins sévère [45]

III.1.1. La cuisson des chips

La méthode de cuisson aux micro-ondes et la méthode conventionnelle sont appliquées dans la transformation de pommes de terre en chips, les étapes de transformation varient selon la méthode appliquée.

III.1.1.1. Cuisson aux micro-ondes [26]

Les étapes suivantes sont utilisées dans la cuisson de pommes de terre aux microondes :

- Nettoyage, lavage et l'épluchage des pommes de terre
- Mettre les pommes de terre dans un bol et arrosons avec un peu d'huile d'olive pour les enrober.
- Mettre un morceau papier absorbant sur le carrousel de micro-onde et déposer une seule couche de tranche de pomme de terre.
- Cuire au micro-onde de 1/2 à 4 minutes en fonction de micro-onde, de la taille des tranches de pomme de terre, de l'épaisseur coupées.
- Quand ils deviennent uniformément brun doré, ils sont prêts. Arrêtons la machine pour les vérifier si nécessaire, et retirons les copeaux qui brunissent plutôt que les autres. Répétons pour le reste des tranches et réutiliser la doublure en papier.
- Saupoudrons de sel, poivre fraîchement concassé ou tout autre mélange d'herbes selon le gout recherché.

III.1.2. La cuisson conventionnelle [26] :

Les étapes suivantes sont appliquées dans la cuisson conventionnelle de pommes de terre :

- Epluchage et lavage des pommes de terre puis découpage en fines lamelles d'une épaisseur variant entre 1 à 4 mm, elles doivent avoir une même épaisseur pour que les chips aient une couleur homogène après la cuisson.
- Les rondelles sont ensuite lavées à l'eau froide pour éliminer l'amidon qui s'est libéré par le découpage et aussi pour éviter qu'elles se collent, puis les séchées soit par un tamis vibrant ou par un système de ventilation.
- Les lamelles sont transportées vers la friteuse par band roulante où l'huile est chauffée à 180°C, elle ne doit pas être basse pour que les chips n'absorbent pas d'huile. Et pour la durée de cuisson, elle varie en fonction d'épaisseur et de la teneur en matière sèche, mais elle dure généralement entre 2 et 5 minutes.
- Les chips ne doivent pas cuire long temps si non ils auront un mauvais goût et pour la coloration on doit veiller pour qu'elle ne soit pas foncée.
- Après la cuisson, on enlève les éventuels chips trop brun ou pas assez cuits, puis tandis que les chips sont encore chaudes, des antioxydants et pour le saupoudrage de la saveur choisie a lieu avant celui de sel.

III.1.2. Comparaison entre les deux méthodes de cuisson des chips

La friture est une méthode de cuisson très utilisée, rapide et pratique où les aliments sont immergés dans l'huile chaude (généralement entre 170 et 190°C) conduisant à une vaporisation intensive de l'eau à l'intérieur des aliments et à son transport à travers la surface [46]. Dans ce processus, un transfert simultané de chaleur et de masse se produit, comme dans le processus de séchage. Le déplacement hors de l'échantillon est remplacé par l'huile de friture se déplaçant dans l'échantillon [46,47]. Les produits alimentaires frits ont des propriétés sensorielles spécifiques souhaités par le consommateur, en termes de couleur, de saveur, de texture et d'appétence à la suite de nombreuses réactions chimiques, telle que le brunissement. Cependant, la consommation d'huile et la teneur en acrylamide (en termes de féculés) des produits frits, et la dégradation des lipides qui se produit pendant le processus de friture sont des faits importants qui doivent être pris en compte en termes de qualité organoleptique.

Dans des études récentes, le chauffage par micro-ondes a été utilisé comme méthode de friture alternative, avec ses avantages de réduire le temps de cuisson [48, 49], obtenant des produits frits moins l'absorption d'huile [48], une dégradation moindre de

l'huile [50] et une teneur plus faible en acrylamide [49, 51] La condition optimale s'est avérée être la friture à un niveau de puissance micro-ondes de 550W pendant 2,5 min dans l'huile de tournesol.

Les auteurs ont déclaré que la friture aux micro-ondes dans des conditions optimisées fournissait des pommes de terre frites avec une absorption d'huile plus faible et réduisait le temps de cuisson conventionnel de 44,45%.

III.2. Séchage de pommes de terre par micro-ondes

Le séchage de pomme de terre a été réalisé par des micro-ondes ; Ce type du séchage est une méthode efficace de temps et d'énergie qui peut améliorer la qualité du produit dans certains cas [52], il se caractérise par l'absorption d'un rayonnement électromagnétique par le produit à chauffer [53]. Les vagues électromagnétiques agissent l'une sur l'autre directement avec des particules ioniques et dipolaires, entraînant l'excitation et le frottement [52].

La technique de micro-ondes a été comparé avec d'autres méthode de séchage tel que le micro-onde combiné avec l'air chaud ou froid, dans l'objectif de retirer la meilleure méthode de séchage de pommes de terre. En effet, l'étude de **Patrick et Timothy (1994)** sur le séchage aux micro-ondes et par convection des tranches de pomme de terre. En fixant les paramètres de séchage (épaisseur = 1,5 ; la vitesse de l'air 0.032m³/sec ; température de l'air chaud = 65°C, température de l'air frais = 18°C) a donné les résultats suivants : le taux de séchage par micro-ondes est de 70%, par micro-onde combiné avec l'air chaud est de 14% et pour la dernière méthode : par micro-onde combiné par l'air froid est de 45%. En conséquence la technique de séchage de pomme de terre par micro-onde est la meilleure que celles combinées avec l'air chaud ou froid.

Pour le séchage de pommes de terre aux microondes, l'épaisseur des tranches influence sur le temps de séchage. **Patrick et Timothy (1994)** ont démontré que le séchage de la pomme de terre en utilisant ces paramètres : épaisseur : $e_1=1.5$ et $e_2=2$ mm; puissance=160 W; a donné les temps de séchage $t_1= 450$ s et $t_2= 800$ s, respectivement. Aussi, **Hadi et Seyed, (2019)** ont étudié l'effet des paramètres : épaisseur des tranches sur le temps de séchage, les résultats montrent qu'en augmentant l'épaisseur de 3,5 à 9 mm ils le temps de séchage augmente de 320 à 750s. De ce fait, plus que la tranche est épaisse, plus la durée de séchage est longue.

Le séchage de la pomme de terre par micro-ondes est la meilleure méthode, et pour l'effectuer rapidement avec un taux élevé, les tranches doivent être minces pour gagner de temps.

Liste des abréviations

Liste des abréviations

CNCC: Centre National de Contrôle et de Certification

DSA: Direction des Services Agricoles.

[Eau] : Teneur en eau

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

Ha : Hectare

[Huile] : Teneur en huile

ITCMT : Institut technique des cultures maraichères et industrielles

MADR: Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

MF : Matière Fraîche.

Min : Minute

Mm : Millimètre

[MS] : Teneur en matière sèche

OADA: Organisation Arabe de Développement Agricole

ONFAA : Observatoire National des Filières Agro Alimentaire.

Qx : Quintaux

[Sucres R] : Teneur en sucres réducteurs

T : Température

T : Tonne

W : Watt

% : Pourcentage

Liste des figures

La liste des figures :

Figure	Titre	Page
Figure 01	le système aérien et souterrain de la pomme de terre	4
Figure 02	Coupe longitudinale d'un tubercule de pomme de terre	5
Figure 03	les différentes formes des tubercules de pomme de terre	6
Figure 04	Le spectre électromagnétique et exemples d'ordre de grandeur et d'utilisations associées	18
Figure 05	Spectre électromagnétique	20
Figure 06	Transferts thermiques sous les deux modes de chauffage	21
Figure 07	Séchage des fruits tropicaux sous vide assisté par micro-onde	23
Figure 08	Décongélation des viandes assistée par micro-ondes	23

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau I	Taxonomie de la pomme de terre.	2
Tableau II	Les variétés de la pomme de terre cultivées en Algérie.	7
Tableau III	Composition chimique du tubercule de pomme de terre (une pomme de terre crue, non épluchée, 213g).	8
Tableau IV	Principaux pays producteurs de pomme de terre.	10
Tableau V	La production de la pomme de terre dans les pays arabes durant l'année 2016.	12
Tableau VI	Diversification variétale et usages des pommes de terre de consommation.	13

Introduction

Introduction générale

Introduction

Le secteur agricole est l'un des secteurs les plus importants et dont l'Algérie dispose de grands moyens qui ont besoin d'être exploités de façon optimale pour contribuer au développement des exportations algériennes en dehors des hydrocarbures d'une part et d'améliorer la situation de la sécurité alimentaire d'autre part. Pour cela, l'Algérie a opté de renforcer certaines filières stratégiques, parmi lesquelles on cite la filière pomme de terre, du fait du rôle qu'elle occupe dans l'amélioration de la sécurité alimentaire et les atouts dont elle dispose pour créer de la valeur ajoutée [1].

En Algérie, la filière pomme de terre, dans tous ses volets semences et consommation, a un poids économique considérable et occupe une place stratégique dans les nouvelles politiques de renouveau agricole et rurale. Elle est en première ligne dans la lutte contre la faim et la pauvreté dans le monde [1].

Les micro-ondes sont des ondes électromagnétiques de longueur d'onde intermédiaire entre l'infrarouge et les ondes de radiodiffusion. Le chauffage par micro-ondes a des vastes applications dans le domaine de la transformation des aliments et notamment la pomme de terre telles que : cuisson, séchage, pasteurisation ...etc, et leurs utilisations dépendante du procédé de transformation mais aussi des propriétés intrinsèques de la pomme de terre ou de l'aliment [2].

Le présent travail est une synthèse bibliographique, réaliser dans l'objectif d'étudier comment transformer la pomme de terre en sous-produits en utilisant les micro-ondes et déduire la meilleure méthode en la comparant a la méthode conventionnelle

Pour atteindre les objectifs tracés, le travail est organisé en trois chapitres :

- **Le premier chapitre** rappelle quelques notions sur la pomme de terre (origine, caractéristiques botanique, variétés,...).
- **Le deuxième chapitre** décrit les micro-ondes et leurs utilisations dans les industrielles alimentaires.
- **Le troisième chapitre** consacré à donner les résultats de certaines études publiées sur la transformation (séchage, cuisson) de la pomme de terre en utilisant les micro-ondes.

Chapitre I :
Généralité sur la
pomme de terre

I. Généralité sur la pomme de terre

I.1. Historique

La pomme de terre (*Solanumtuberosum* L.), de sa qualité gustative et sa valeur nutritive, constitue un produit de base dans la consommation des ménages Algérien. C'est une plante vivace dicotylédone tubéreuse, herbacées, cultivée pour ses tubercules riches en amidon et possédant des qualités nutritives, originaire d'Amérique du sud, elle appartient à la famille des Solanacées, qui sont des plantes à fleurs, et partage le genre *Solanum* avec une moins 2000 autre espèce, entre autre la tomate, l'aubergine, le tabac, le piment, et le pétunia [3].

Les premières pommes de terre ont été cultivées il y'a plus 6000 ans près du lac Titicaca dans les montagnes des Andes de l'Amérique du Sud, sur la frontière entre la Bolivie et le Pérou. La plus grande diversité d'espèces sauvages de pommes de terre est encore actuellement dans cette région [4]. L'introduction de la pomme de terre en Europe remonte au XVIème siècle lorsque les conquistadors espagnols découvrirent l'Amérique [5].

En Algérie, la pomme de terre, a probablement, été introduite pour la première fois au XVIème siècle par les Maures andalous qui ont propagé les autres cultures dans la région : tomate, poivron, maïs, tabac... Puis, n'ayant pas suscité d'intérêt, elle est tombée dans l'oubli [6]. La pomme de terre occupe aujourd'hui une place majeure dans l'agriculture européenne et mondiale [5].

I.3.Caractéristiques de la plante

I.3.1. Taxonomie

La pomme de terre (*Solanumtuberosum*L.) appartient à la famille des Solanacées, genre *Solanum*, comprend 1000 espèces dont plus de 200 sont tubéreuses la position systématique de la pomme de terre est donnée dans le **tableau I** selon [7].

Tableau I : Taxonomie de la pomme de terre [7].

Règne	Plante
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophita
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Asteridae
Ordre	Solanales
Famille	Solanaceae
Sous-famille	Solanoideae
Genre	<i>Solanum</i>
Espèce	<i>Solanumtuberosum</i> L
Division	Magnoliophita

D'après [8], au cours du XVIème siècle, la pomme de terre avait plusieurs appellations scientifiques :

- *Archidna papas pernuanorum* Deluclu (1601)
- *Papusorbiculatus* John Gerard (1596)
- *Battutavigi niniana* John Gerard(1597)
- *Papusorbiculatus* John Gerard (1599)

I.3.2.Description Botanique

La plante est une espèce herbacée vivace par ces tubercules mais cultivée en culture annuelle [8]. Les différentes espèces et variétés de pomme de terre ont des caractéristiques botaniques différentes. C'est pour cela qu'il est nécessaire de connaître les différentes parties de la plante [9].

La pomme de terre se compose d'une partie aérienne et d'une partie souterraine (figure 1) :

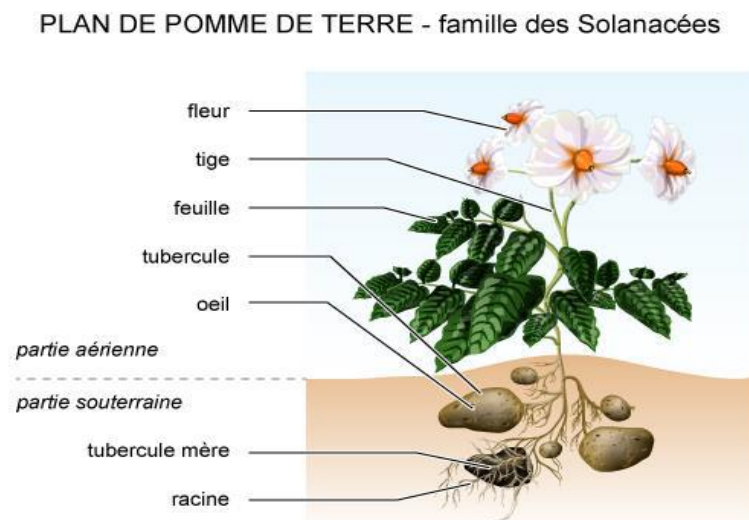
I.3.2.1. Partie aérienne : Chaque plante est composée d'une ou plusieurs tiges herbacées de port plus ou moins dressé et portant des feuilles composées [10]. Le système aérien est composé comme suit :

- Les tiges aériennes sont au nombre de 2 à 10, parfois plus, avec un port plus au moins dressé et une section irrégulière.
- Les feuilles composées qu'elles portent permettent, par leurs différences d'aspect et de coloration, de caractériser les différentes variétés.

- Les fleurs, dont la couleur et le nombre définissent aussi divers cultivars sont généralement autogames, mais souvent stériles.
- Les fruits ou baies qu'elles produisent contiennent des graines dont l'intérêt est nul en culture [9].

I.3.2.2. Partie souterraine : Le système souterrain représente la partie la plus intéressante de la plante puisqu'on y trouve les tubercules qui confèrent à la pomme de terre sa valeur alimentaire. L'appareil souterrain comprend le tubercule mère desséché et des tiges souterraines ou stolons [11]. Le tubercule de pomme de terre n'est pas une portion de racine, c'est une tige souterraine.

Figure 01 : le système aérien et souterrain de la pomme de terre [12].



Comme toutes les tiges, il est constitué d'entre nœuds, courts et épaissis dans le cas présent, et porte des bourgeons (que l'on appelle les « yeux ») situés dans de petites dépressions. En se développant, les bourgeons donnent les germes et les futures tiges aériennes. Les racines prennent naissance sur différentes parties : au niveau des nœuds enterrés des tiges feuillées, au niveau des nœuds des stolons ou encore au niveau des yeux du tubercule [11].

I.4. Caractéristiques du tubercule

I.4.1. Anatomie

I.4.1.1. Structure externe

On peut voir sur la figure 02, un bourgeon terminal à l'extrémité apicale du tubercule appelé « couronne », à l'autre extrémité qualifiée de « talon », on trouve le point d'attacher du stolon : « l'ombilic ». Régulièrement disposées tout au long du tubercule, des dépressions en coup d'ongle sont : « les yeux », surtout fréquents dans la région de la couronne [11].

I.4.1.2. Structure interne

Sur la coupe longitudinale d'un tubercule arrivé à maturité, on observe de l'extérieur vers l'intérieur tout d'abord [11] :

- Le périoderme, connu plus communément sous le nom de la peau. La peau du tubercule mûr devient ferme et à peu près imperméable aux produits chimiques, gazeux et liquides. Elle est aussi une bonne protection contre les micro-organismes et la perte d'eau. Les lenticelles assurent la communication entre l'extérieur et l'intérieur du tubercule et jouent un rôle essentiel dans la respiration de cet organe.

- L'examen au microscope optique montre que les cellules des parenchymes périvasculaires sont petites et contiennent de très petits grains d'amidon. Les cellules du parenchyme cortical sont plus grandes et renferment beaucoup plus de grains d'amidon, de moindre taille que dans la moelle.

- Le tissu de revêtement : le périoderme est la région du tubercule la plus pauvre en grains d'amidon. La zone péri-médullaire présente les plus gros grains d'amidon.

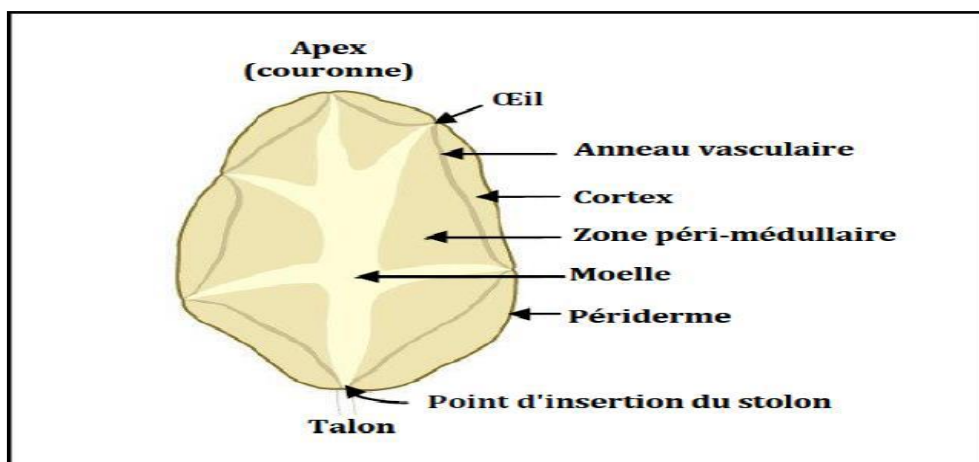


Figure 02 : Coupe longitudinale d'un tubercule de pomme de terre [3].

I.4.2. La forme

Les tubercules sont classés en trois classes selon la forme (**figure 03**):

- **Les arrondis** :qui sont bosselés, destinées à la production de la fécule.
- **Les claviformes** :sont plus ou moins de forme de rein.
- **Les oblongs** :de forme allongée (comme un kiwi).

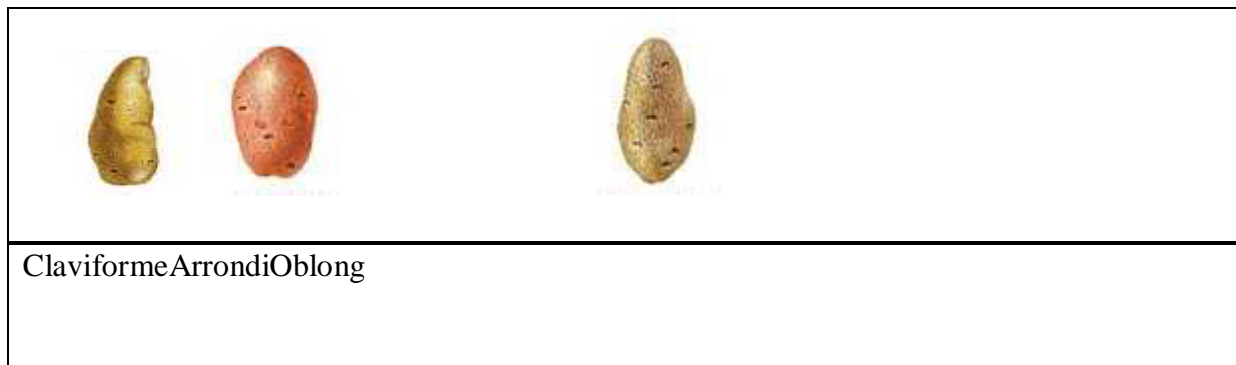


Figure 03 : les différentes formes des tubercules de pomme de terre [13].

I.4.3. La couleur

On distingue la couleur de la peau et de la chair [3] :

- ❖ **La couleur de la peau** :généralement les tubercules sont de couleur de peau jaune, mais peut être rouge, noire, brune ou rosé.
- ❖ **La couleur de la chair** : elle est de couleur blanche, jaune plus ou moins foncée, rose ou violette selon les variétés.

I.5. Les variétés de la pomme de terre

Le tableau II montre qu'il existe plusieurs variétés de pomme de terre : la variété à peau blanche on trouve : la *Spunta*, *safran*, *diamant*, ... et les variétés à peau rouge est représenté par *kondor*, *rosolie*, *bertina*,... etc.

Les variétés de la pomme de terre sont déterminées par plusieurs critères [3]:

- La forme du tubercule
- La couleur de la peau et de la chair
- La durée de conservation
- La durée de culture

I.5.1. Pomme de terre primeur

Limiter le nombre de tubercules au profit de leur grosseur et d'une extrême précocité, les principales variétés utilisées sont *Nicola*, *Diamant*, *Roseval*, *Yasmina*, *Timate* et *Charlotte*...etc.

I.5.2. Pomme de terre plant

Nombre élevé de tubercules de calibre moyen et d'une bonne Précocité.

I.5.3. Pomme de terre de consommation (marché du frais)

Un nombre élevé de tubercules d'un calibre moyen à grand, sans toutefois dépasser le calibre supérieur. Les variétés les plus utilisées sont *Desirée*, *Spunta*, *Diamant*, *Lisetta* et *Kondor*...

I.5.4. Pomme de terre de consommation (transformation industrielle)

Ces variétés montrent un rendement élevé en tubercules et amidon [14].

Tableau II : Les variétés de la pomme de terre cultivées en Algérie [15]

variétés rouge	variétés blanche
<i>Bertina</i>	<i>Safran</i>
<i>Amorosa</i>	<i>Spunta</i>
<i>Cardinal</i>	<i>Diamant</i>
<i>Condor</i>	<i>Sahel</i>
<i>Désirée</i>	<i>Lola</i>
<i>Cléopatra</i>	<i>Apollo</i>
<i>Resolie</i>	<i>Ajax</i>
<i>Thalassa</i>	<i>Yesmina</i>

Les principales variétés cultivées en Algérie sont *Spunta*, *Fabula*, *Nicola*, *Diamant*, *Timate*, *Atlas* (qui sont à peau blanche) et *Bartina*, *Désirée* et *Kondor* à peau rouge [15].

Les variétés rouges sont les variétés les plus demandées par le producteur parce qu'elles présentent une grande facilité de stockage, des rendements plus élevés et une plus grande résistance à la sécheresse et au verdissement [16].

II.6. Composition biochimique et valeur nutritionnelle

La valeur énergétique de la pomme de terre est traduite par sa richesse en glucides. Ces tubercules ont la plus haute teneur en protéines de toute la famille des racines, elle constitue un mélange varié d'antioxydants, comprenant la vitamine C, les caroténoïdes et les polyphénols, contribuant à l'activité antioxydant globale. La concentration en caroténoïdes

des tubercules de pomme de terre est liée à la couleur de la chair. Les pommes de terre à la chair violette possèdent des concentrations élevées en caroténoïdes totaux [17].

La pomme de terre est un aliment polyvalent, riche en hydrates de carbone. Fraîchement cueillie, elle contient environ 80 % d'eau et 20 % de matière sèche, dont 60 à 80 % environ d'amidon. La teneur en protéines de la pomme de terre (en poids sec) est semblable à celle des céréales et très élevée par rapport aux autres racines et tubercules. En outre, elle est pauvre en lipides. Par contre elle est riche en micronutriments, en particulier en vitamine C. la pomme de terre représente une source modérée de fer et sa forte teneur en vitamine C en favorise l'absorption. C'est une bonne source de vitamines B1, B3 et B6 et de sels minéraux comme le potassium, le phosphore et le magnésium, elle contient en outre des vitamines B9, B5 et B2. Elle renferme par ailleurs des antioxydants et des fibres alimentaires. La composition moyenne de la pomme de terre est représentée dans le tableau III et figure 04 [18].

Tableau III : Composition chimique du tubercule de pomme de terre (une pomme de terre crue, non épluchée, 213g) [15].

Constituants (%)		Minireaux (mg)		Vitamines(mg)	
Eau	72-75	Potassium	897	Vitamine C	46
Amidon	16-20	Phosphore	121	Niacine	2,2
Proteines	2-2,5	Magnésium	49	Vitamines B6	0,62
Fibres	1-1,8	Fer	1,46	Thiamine	0,17
Acides gras	0,15	/	/	/	/

I.7. Production et importance économique de la pomme de terre

La pomme de terre représente la quatrième plus grande culture vivrière du monde juste après le maïs, le riz et le blé, avec une production dépassant les 376 millions de tonnes, réparties sur une superficie de 19 millions d'hectares de terres cultivées [17].

I.7.1. Echelle mondiale

La pomme de terre est une culture stratégique de part sa position dans le monde où elle occupe la quatrième place après les cultures de blé, de riz et de maïs. La production mondiale a été évaluée en 2013 à plus de 368 millions de tonnes sur 19,4 millions d'hectares [18] mais

première production non céréalière, la pomme de terre s'adapte à des situations très diverses : du cercle polaire à l'équateur en jouant sur les saisons, les variétés, l'altitude, ...etc.

Elle joue un rôle clé dans le système alimentaire mondial. C'est la principale denrée alimentaire non céréalière du monde et la production mondiale a atteint le chiffre record de 329 millions de tonnes en 2009 [18]. Dans les pays développés, la consommation de pommes de terre augmente considérablement et représente plus de la moitié de la récolte mondiale. Comme elle est facile à cultiver et que sa teneur énergétique est élevée, c'est une culture commerciale précieuse pour des millions d'agriculteurs.

Certain l'appelle l'aliment du futur, selon la FAO au cours des vingt prochaines années, la population mondiale devrait croître de plus de 100 millions d'habitants par an, dont plus de 95% dans les pays en développement, où la pression sur la terre et l'eau est déjà très forte.

Tableau IV : Principaux pays producteurs de pomme de terre [14].

Classement	Pays	Production (tonne)
1	Chine	96 136 320
2	Inde	46 395 000
3	Russie	31 501 354
4	Ukraine	23 693 350
5	Etats-Unis	20 056 500
6	Allemagne	11 607 300
7	Bangladesh	94 351 50
8	France	80 54 500

I.7.2. Échelle nationale

En Algérie, après que fut introduite au milieu du XIX^{ème} siècle, l'essentiel de la production de la pomme de terre était expédié en France. En 1962, lorsque le pays acquit son indépendance, il produisait 250 000 tonnes par an et en exportait environ le tiers. Due aux habitudes alimentaires, la production de la pomme de terre a connue une progression constante et elle a atteint une quantité de 4.6 million de tonnes en 2014 dont la wilaya d'El Oued représente la première région productrice de ce légume avec 24% de la quantité produite au niveau national [20].

Selon les statistiques de la FAO en 2010, L'Algérie occupe la deuxième place, après l'Égypte, dans la production de la pomme de terre en Afrique.

Selon le tableau v les chiffres présentés dans le rapport indiquent que la production des pays arabe a dépassé le seuil de quatre millions de tonnes durant l'année 2016. L'Algérie est classée en tête, Elle est cultivée sur une superficie estimée à 165milles hectares. Le rendement moyen a atteint 30,6 tonnes/ha, l'Égypte réserve une superficie de 152 milles hectares pour cultiver ce légume. Sa production est estimée à 4 millions de tonnes pour la même année.

Tableau V : La production de la pomme de terre dans les pays arabes durant l'année 2016 [21].

Pays	Superficie (Mille ha)	Production (million tonne)	Rendement (qx/ha)
Algérie	165	4,7	30.6
Egypte	152	4,1	26.9
Maroc	59	1,7	29,3
Syrie	22	0,5	22.6

I.7.3. Evolution de la production nationale de la pomme de terre (2000-2017)

La production a augmenté entre les années 2000 et 2017 passant approximativement de 10 millions de quintaux à plus de 40 millions de quintaux.

Selon le rapport de la FAO en 2014, la production de la pomme de terre à une dynamique de croissance intéressante est aussi très significative, la production a évolué entre 2,2 millions de tonnes en 2008 à 3 millions de tonnes en 2010, et de 4,22 millions de tonnes en 2012 à 4,9 millions de tonne en 2013.

Selon **Onfaa (2014) [22]**, la production de la pomme de terre est assurée à mesure de 64,5% par les wilayas d'El oued, Ain Defla, Bouira et Mascara. Pour l'année 2017, production annuelle totale est de 41 Millions de quintaux pour une superficie de près de 130 000 ha.

La multiplication de la production entre 2000 et 2017 est le résultat de :

- ✓ Le doublement de la superficie consacrée à la pomme de terre qui passe de 64 694 ha à 129 821 ha.
- ✓ Le doublement du rendement passant d'approximativement 160 quintaux/ha à plus de 320 quintaux/ha.

I.8.Utilisation de pomme de terre

La pomme de terre a quatre grands types d'utilisations : l'alimentation humaine (sous forme de tubercules frais ou transformés), l'alimentation animale, l'extraction industrielle de l'amidon et d'autres sous-produits, la production des plants.

Au niveau mondial, la répartition était la suivante en 2005 (bilans alimentaires **FAO**) : pour une disponibilité totale de 322,5 millions de tonnes, l'alimentation humaine a représenté 66,4%, l'utilisation à des fins industrielles 12,7 %,l'alimentation animale 11 % et les semences (plants) 9,9 %. La disponibilité réelle est affectée par un taux de pertes, notamment lors de l'utilisation par les ménages, que l'on peut estimer à environ 7 % **[23]**. Les différentes utilisations de la pomme de terre sont données dans le tableau VI.

Tableau VI : Diversification variétale et usages des pommes de terre de consommation [24].

a) à usage industriel :

Usages	Caractéristiques du produit final	Caractéristiques De la matière première	Variétés utilisées
Chips	Minces lamelles frites (1-1.5 mm) [eau] : 2-3% [huile] : 30-40%	Calibre : 35-50 mm [MS] > 21% [Sucres R] < 0.5% MF	<i>Saturna, Bintje, Première, Ostara</i>
Frites Surgelées	Bâtonnets (6*6 – allumettes- à 12*12mm -frites), blanchis et Préfrits	Calibre > 50mm, forme oblongue [MS] 20 à 23% [Sucres R] < 0.4 % MF	<i>RussetBurbank, Bintje, Agria, Marujke</i>
Flocons	Purée déshydratée et floconnée	Calibre > 35 mm [MS] 20 à 24% [Sucres R] 0.6 à 1% MF	Bintje
Appertisée	Cubes ou lamelles en bocaux ou sachets, sous vide	Calibre < 45 mm [MS] < 20% [Sucres R] < 1%MF	Variable mais plutôt chair Ferme

b) pour la consommation en frais :

Types	Caractéristiques	Usage	Variétés
A	Chair fine, peu farineuse, ne se délitant pas à la cuisson	*Salades, pommes vapeur, sautées *rissolées, gratins *NON : frites, purées, soupes, au Four	<i>Charlotte, Nicola, Francine, BF15, Belle de Fontenay, Roseval, Ratte etc.</i>
B	Chair assez fine, un peu farineuse, faible délitement à la Cuisson	*Rissolées *vapeur, sautées, gratins, soupes *frites, purées, au four	<i>Ondine, Ostara, Première, Estima, MonaLisa, Samba, Urgenta, Mondial (Bintje)</i>
C	Chair farineuse, peu aqueuse, délitement prononcé à la cuisson	*Frites ménagères, soupes, au four *gratins *NON: vapeur, sautées, salades	<i>Bintje, RussetBurbank Estima, Caesar, Agria</i>

I.9. Mécanisme de transformation de la pomme de terre

Une fois récoltée, la pomme de terre peut être utilisée de diverses manières, et pas seulement comme légume. En fait, moins de la moitié des tubercules produits dans le monde sont consommés frais. Le reste est transformé en produits dérivés et en ingrédients alimentaires pour nourrir les vaches, les porcs et les poulets, en fécule destinée à l'industrie ou bien réutilisée sous forme de plants pour la prochaine saison agricole [15]. De tous les créneaux de transformation de la pomme de terre (fabrication de féculs, de mousselines, pomme de terre pré cuites, frites surgelées et chips), seuls les chips sont plus ou moins développés en Algérie, encore avec beaucoup de lacunes en terme de respect des exigences variétales et d'application d'un itinéraire technique de production adapté pour les pommes de terre destinées pour la transformation. Sur le plan quantitatif, on estime à environ 50 000

tonnes de pomme de terre transformée [25]. Que les tubercules soient consommés frais ou transformés, ils doivent être stockés à l'abri de la lumière, sinon ils produisent de la chlorophylle et un alcaloïde toxique, la solanine. Les tubercules doivent être stockés à une température comprise entre 6 et 8°C, dans un endroit obscur, bien aéré dont le taux d'humidité est relativement élevé, entre 85 et 90 %. Les semences, en revanche, doivent être stockées à la lumière diffuse afin de pouvoir germer et former des bourgeons vigoureux [15].

- Lavage : essentielle pour éliminer la boue des tubercules et favoriser l'attaque de la peau au cours du pelage. Il s'effectue par le passage des pommes de terre- dans un tambour rotatif sous jets d'eau [26]
- Pelage : Quelle que soit leur destination finale (chips, purée ou frites), les tubercules doivent être épluchés. Et il existe différents procédés de pelage sont les suivants [26]:
 - Pelage à la vapeur
 - Pelage par abrasion
 - Pelage au sel
 - Pelage à la flamme
 - Technique mixte vapeur/soude
- Cuisson : Quand les tubercules sont épluchés, coupés et là nous allons choisir le procédé par qui nous voulons les cuire : conventionnelle, au four ou au micro-onde [26].

Chapitre II :
Généralité sur les
micro-ondes

II. les micro-ondes :

II.1. Historique

Les micro-ondes sont des ondes électromagnétiques de longueur d'onde intermédiaire entre l'infrarouge et les ondes de radiodiffusion. L'utilisation de ces ondes pourra être répartie en deux catégories distinctes: l'onde pourra être porteuse d'informations comme dans les télécommunications (téléphones portables, satellites, GPS, radars...) ou vecteur d'énergie (chauffage, décongélation, séchage, cuisson...) grâce à la friction et à l'agitation moléculaire produites par la migration des ions et la rotation dipolaire. A ce jour, cette application est largement utilisée dans le milieu industriel et les foyers. La découverte des micro-ondes s'est faite fortuitement: c'est au cours de la seconde guerre mondiale que se profile l'invention. En 1950, un brevet est déposé par la société Raytheon concernant l'utilisation des micro-ondes pour la cuisson des aliments. Le premier four à micro-ondes est commercialisé en 1953 sous le nom de « Radarange » [2].

Depuis quelques années, les fours micro-ondes ont pu faire leur entrée dans les laboratoires et devenir un axe de recherche considérable. Aujourd'hui, de nombreux auteurs ont relaté les avantages des micro-ondes dans divers procédés chimique et/ou physique que ce soit au niveau de l'industrie ou du laboratoire. Ces ondes électromagnétiques ont pu être appliquées dans des domaines variés comme: la synthèse organique [27], l'environnement, l'agroalimentaire [28, 29], la médecine [30], l'extraction... . L'application du micro-onde dans le domaine agroalimentaire est dépendante du procédé de transformation mais aussi des propriétés intrinsèques des aliments.

II.2. Définition d'un four à micro-onde

Les micro-ondes ou hyperfréquences sont des ondes électromagnétiques. Une onde électromagnétique est composée d'un champ électrique et d'un champ magnétique. En 1959, la commission fédérale de communication a adopté à Genève un accord visant l'utilisation des micro-ondes dans les domaines médicaux, industriels et scientifiques. Ceci permet de ne pas créer d'interférences avec les fréquences des systèmes de télécommunications. De manière générale, les foyers domestiques sont équipés de fours travaillant à une fréquence de 2,45 GHz. Le fonctionnement d'un four à micro-onde est simple, l'énergie électrique apportée alimente le magnétron qui convertit l'énergie électrique en champ électromagnétique et par un guide d'onde (tube rectangulaire en métal), les micro-ondes produites sont dirigées vers l'agitateur d'onde et pénètrent dans l'enceinte métallique où se trouve l'aliment à chauffer sur

une plaque tournante, qui permettrait au produit alimentaire d'être exposé aux micro-ondes qui pénétrant l'aliment pour atteindre les molécules d'eau [31]

II.3. Technique et mise en œuvre des micro-ondes :

II.3.1. Les ondes électromagnétiques

Le spectre électromagnétique décrit la répartition des ondes électromagnétiques en fonction de leur fréquence (f) : les ondes de faible fréquence, de quelques kilohertz (kHz) à plusieurs gigahertz (GHz), sont appelées ondes radio ou ondes hertziennes, par référence à Heinrich Hertz, physicien allemand qui fut le premier à produire et à détecter de telles ondes. A des fréquences plus élevées se trouvent par ordre de fréquence croissant l'infrarouge, la lumière visible (longueur d'onde entre 400 et 700 nm) et l'ultraviolet. Enfin, aux fréquences les plus élevées, se trouvent le domaine des rayons X (entre 1 et 100 nm), puis celui des rayons gamma (longueur d'onde inférieure à 1 nm) (Figure 5) [32]

La fréquence (f) correspond donc au nombre d'oscillations en un point de l'espace par unité de temps. Elle se mesure en cycles par seconde ou Hertz (Hz) (1 cycle par seconde = 1 Hz). Pour une onde progressive, la longueur d'onde est la distance minimum qui sépare deux points de l'espace où les oscillations sont en phase. Elle se mesure en mètres (m). La fréquence est liée à la longueur d'onde par la relation :

$$h = v/\lambda$$

avec :

λ : longueur d'onde en m,

v : vitesse de propagation de phase dans le milieu en
m.s⁻¹ et

f : fréquence en Hz.

Plus la fréquence est élevée plus la longueur d'onde est courte.

A toute onde électromagnétique est associée une particule de masse pratiquement nulle appelée photon dont l'énergie est liée à la longueur d'onde par la relation :

$$E = h.f = h C / \lambda$$

où h est la constante de Planck (6,62.10⁻³⁴ joules seconde (J.s)) et c la vitesse de la lumière dans le vide. Selon leur fréquence et leur énergie, les ondes électromagnétiques peuvent être classées parmi les « rayonnements ionisants » (rayons X et gamma) ou les « rayonnements non ionisants » (ultraviolets, visible, infrarouges, radiofréquences et micro-ondes, basses

fréquences) (Figure 5). La limite entre les rayonnements ionisants et non ionisants (dans le vide) est $\lambda = 10 \text{ nm}$: lorsque λ est inférieure à 10 nm, les rayonnements sont dits ionisants [32].

Chapitre II: Les micro-ondes

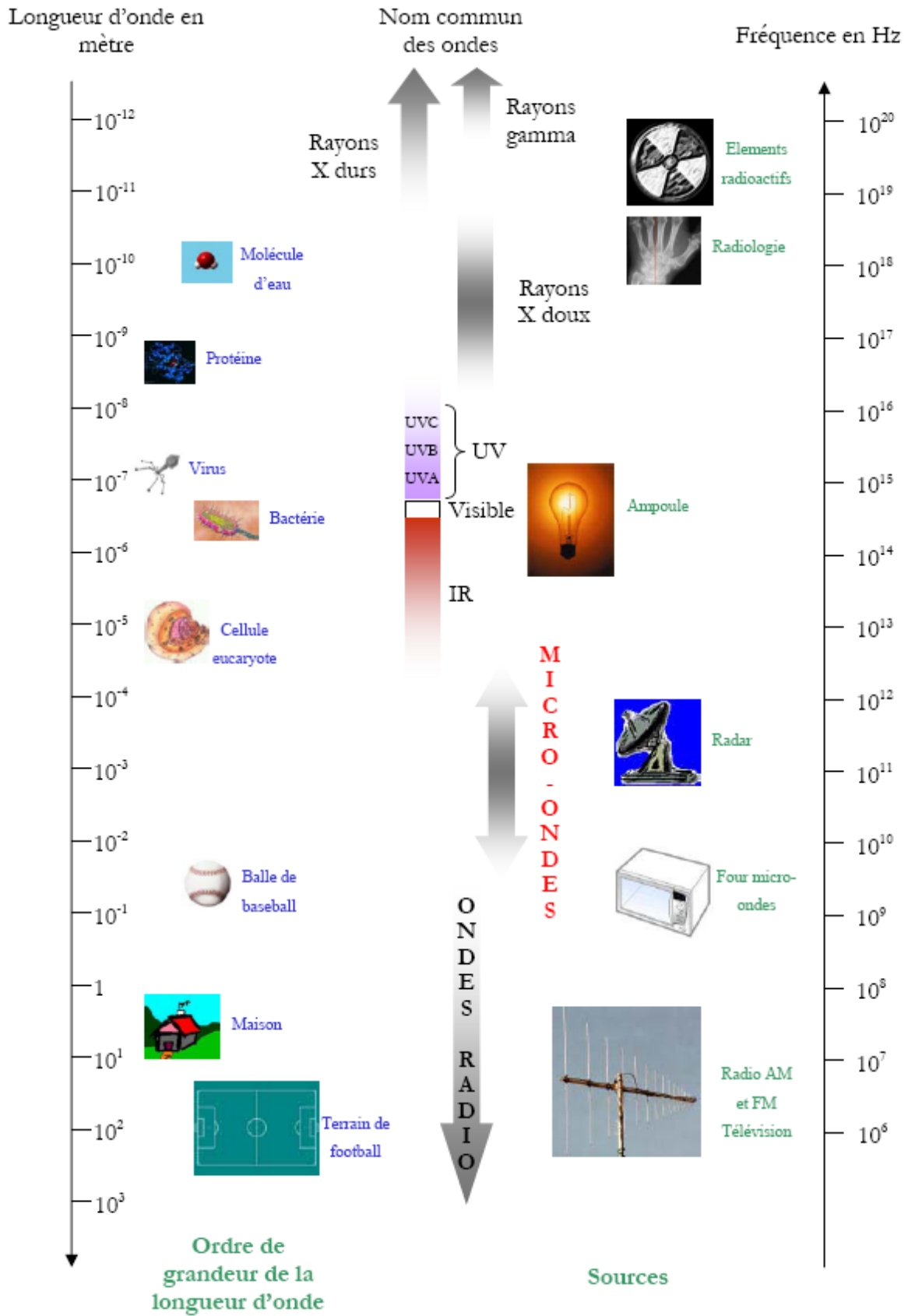


Figure 04 : Le spectre électromagnétique et exemples d'ordre de grandeur et d'utilisations Associées [33].

II.3.2. Description et fonctionnement du four à micro-ondes

Un four à micro-ondes est constitué de trois éléments principaux : le générateur micro-ondes, le guide d'onde et la cavité micro-ondes. Les micro-ondes de forte puissance sont produites par des tubes à vide. Le plus habituel est le magnétron : c'est une diode thermoïonique composée d'une cathode chauffée qui émet des électrons et d'une anode polarisée positivement par rapport à la cathode pour attirer les électrons par le champ électrique continu. Ce champ à haute tension est produit par une alimentation électrique à 50 Hz à partir du secteur redressé [34].

Le guide d'onde permet de convoier et de guider les ondes émises par le magnétron. C'est un tube métallique ou conducteur cylindrique dont la section droite est limitée par un contour fermé pouvant contenir d'autres contours. Sa génératrice sera choisie comme axe de propagation. Deux modes de propagation peuvent exister : le mode TM (transverse magnétique), ou bien, le mode TE (transverse électrique) [34].

L'applicateur est une cavité fermée qui doit assurer le transfert au matériau à traiter de l'énergie électromagnétique provenant du magnétron. Deux grandes catégories d'applicateurs existent : monomode et multimode. Un applicateur est dit monomode lorsque ses dimensions géométriques sont choisies de telle sorte qu'à la fréquence de travail, il n'existe qu'une configuration de champ. L'énergie électromagnétique emprisonnée se réfléchit sur les parois et donne lieu à des ondes stationnaires. L'applicateur monomode permet le contrôle précis du champ électrique. Il est réservé aux matériaux de petit volume. L'applicateur multimode est une cavité suffisamment grande pour qu'il existe plusieurs types de configurations de champ. Le champ électrique n'est pas stable, comme dans une cavité monomode, et sa distribution varie. Ce type d'applicateur permet de traiter dans des volumes importants, des matériaux dont les paramètres électriques et magnétiques varient peu [34].

II.3. Principe et Mécanisme de chauffage par des micro-ondes :

II.3.1. Interaction onde-matière :

Lorsque la matière est irradiée par une onde électromagnétique, plusieurs comportements sont possibles (**Figure 06**) [35]:

- ✓ Le matériau est conducteur, l'onde est réfléchi.

- ✓ Le matériau est transparent, l'onde électromagnétique est transmise sans perte d'énergie.
- ✓ Le matériau est diélectrique, une fraction plus ou moins importante de l'énergie de l'onde est absorbée.

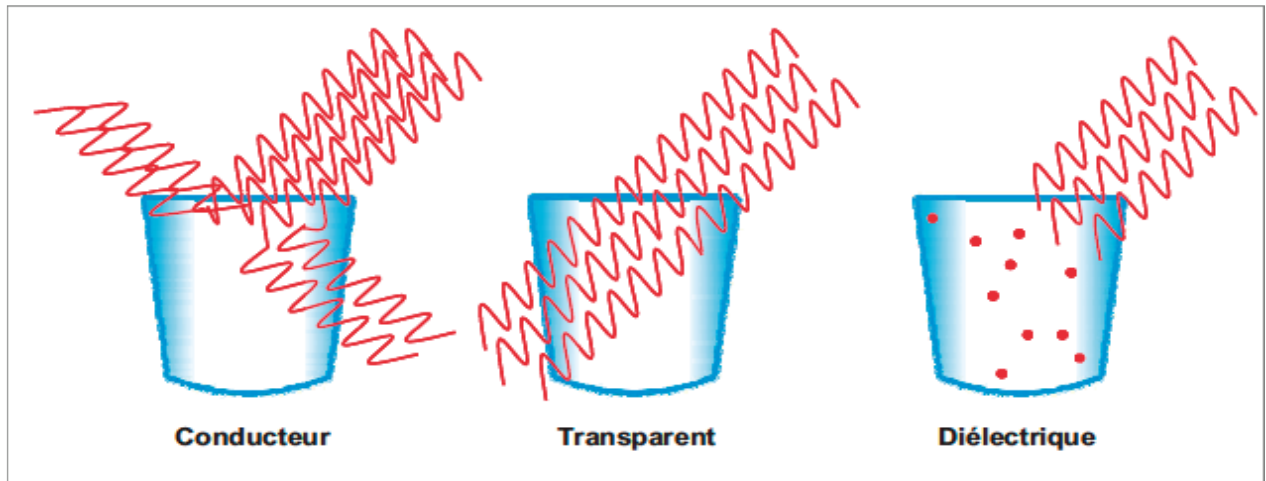


Figure 05 : Différents matériaux pouvant être utilisés comme réacteur [35].

II.3.2. Transfert de chaleur

Le transfert de chaleur sous chauffage micro-ondes est complètement inversé par rapport au chauffage conventionnel. Le transfert de chaleur classique se transmet de l'extérieur vers l'intérieur du récipient. Sous chauffage micro-onde, le volume traité devient lui-même source de chaleur. On parle de dégagement de la chaleur de l'intérieur vers l'extérieur du récipient. La paroi externe du réacteur est plus froide que le milieu du réacteur dans le cas du chauffage micro-onde, et inversement pour le cas du chauffage conventionnel par double enveloppe, plaque chauffante et flamme. C'est un mode de chauffage instantané en volume et non en surface. Les phénomènes thermiques de conduction et de convection ne jouent plus qu'un rôle secondaire d'équilibrage de la température. Des surchauffes locales peuvent également se produire (figure 07) [37].

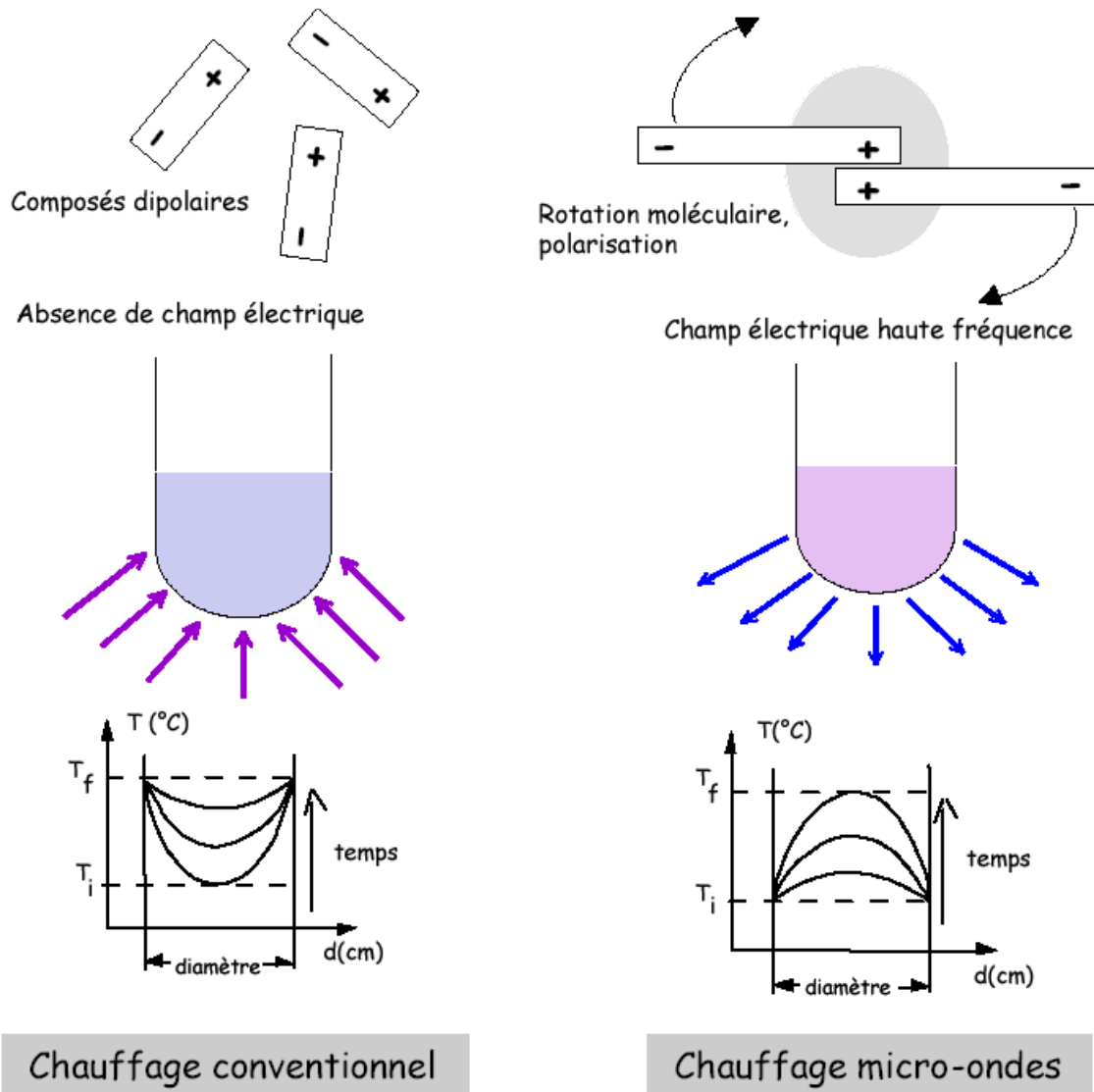


Figure 06: Transferts thermiques sous les deux modes de chauffage [37, 38]

II.3.3. Profondeur de pénétration

La conversion en chaleur de l'énergie portée par l'onde électromagnétique implique que celle-ci va s'atténuer en traversant la matière. On peut définir une profondeur de pénétration par la distance parcourue par l'onde lorsqu'elle a perdu 63 % de son énergie [39].

La profondeur de pénétration diminue lorsque le facteur de perte augmente, ce qui se conçoit aisément : une couche superficielle de matière qui absorbe intensément les micro-ondes intercepte le rayonnement et joue un rôle d'écran vis-à-vis des couches intérieures. Pour cette raison, la profondeur de pénétration des micro-ondes est d'autant plus faible que le produit est humide. C'est ainsi que, selon [40], la profondeur de pénétration relative à une pomme de terre moyennement humide est de 3cm et pour une pomme de terre très humide, de 1,7 cm [41].

II.5. Technologie des micro-ondes pour la transformation des aliments

II.5.1. La Cuisson

L'agitation moléculaire est la source principale de production de chaleur. Ainsi, la matrice, le mélange ou le volume traité absorbe l'énergie directement et s'échauffe rapidement, devenant lui-même source de chaleur. Il s'agit d'un chauffage en volume et non en surface, les parois externes du récipient sont plus froides que le cœur de la solution. La présence d'un champ électromagnétique induit des gradients de température inversée par rapport à un chauffage conventionnel. Des sur chauffés locaux peuvent apparaître dans le cadre de vitesse de réactions très rapides et créer des points chauds qui s'oppose aux phénomènes de convection observés dans un chauffage conventionnel [31].

II.5.2. Le séchage

Plusieurs industries ont exploité le séchage par micro-ondes. On pourra le retrouver dans l'industrie textile (fixation des colorants sur tissus), dans le séchage du bois et la destruction des parasites, pour le séchage du papier, le séchage de poudres à but pharmaceutique, le séchage de pâtes à biscuits... Aujourd'hui de nouvelles méthodes efficaces sont proposées notamment dans l'agroalimentaire. De plus, le micro-onde peut être utilisé pour améliorer une méthode existante. La combinaison séchage par micro-ondes et flux d'air sec chaud montre plusieurs avantages dans le séchage des fruits et légumes. Temps de séchage réduit et qualité nutritionnelle des produits mieux préservée. Il existe trois façons de combiner l'utilisation des micro-ondes avec le flux d'air sec chaud: l'énergie micro-onde peut être appliquée au début du procédé de déshydratation, dans ce cas l'intérieur du produit est rapidement chauffé à la température de vaporisation de l'eau. Ce procédé peut aussi servir en milieu du procédé de déshydratation, dans ce cas la surface de la matrice végétale est sèche et l'eau est concentrée à l'intérieur du produit l'application de l'énergie micro facilité les échanges final [28]



Figure 07: Séchage des fruits tropicaux sous vide assisté par micro-onde [40]

II.5.3. La décongélation

L'utilisation des micro-ondes dans ce procédé va permettre de garder les qualités organoleptiques, microbiologiques et nutritionnelles des aliments [48]. Les micro-ondes permet dans ce genre d'applications un gain de temps considérable et inégalable par une méthode conventionnelle (eg : 30 min contre 24h en chambre de décongélation).



Figure 08 : Décongélation de viandes et poissons assistée par micro-ondes [36]

II.3.4. Pasteurisation, stérilisation

Les micro-ondes se sont avérées dans la destruction des microorganismes ou inactivation des enzymes par son effet thermique [42] de plus la chaleur générée par les micro-ondes peu réduire considérablement le temps nécessaire pour la pasteurisation et stérilisation. En conséquence l'utilisation du chauffage par micro-onde pour la pasteurisation ou la stérilisation offre une meilleure qualité du produit pasteurisé ou stérilisé [43]

II.3.5. Le blanchiment

Le blanchiment au micro-onde est un processus de prétraitement thermique qui est une étape dans plusieurs technique de transformation des aliments (pomme de terre) telle que la congélation, la mise en conserve ou séchage, généralement appliqué pour l'inactiver les enzymes qui affectent la texture, la couleur, la saveur et les valeurs nutritive de l'aliment traiter[31].

Conclusion

La pomme de terre (*Solanumtuberosum*. L) est l'un des légumes les plus populaires au niveau national et international grâce à sa composition nutritionnelle. Les industries alimentaires utilisent la pomme de terre comme matière première dont la fabrication de plusieurs produits tels que : l'amidon, la farine, les chips....par diverses méthodes (micro-ondes, conventionnelle).

Cette recherche bibliographique est basée sur la détermination des généralités sur la pomme de terre et sur les micro-ondes ainsi que sur l'application des micro-ondes dans la transformation des aliments, et particulièrement dans la transformation de la pomme de terre.

Ce travail présente les résultats de certaines études publiées sur l'utilisation des micro-ondes dans la transformation (séchage et cuisson) de pommes de terre en sous-produits. Les auteurs ont déclaré que la friture aux micro-ondes dans des conditions optimisées fournissait des pommes de terre frites (chips) avec une absorption d'huile plus faible et réduisait le temps de cuisson conventionnel. Pour le séchage de pommes de terre aux micro-ondes, l'épaisseur des tranches influence sur le temps de séchage. Ainsi, plus que la tranche est épaisse, plus la durée de séchage est longue. Le séchage de la pomme de terre par micro-ondes est la meilleure méthode, et pour l'effectuer rapidement avec un taux élevé, les tranches doivent être minces pour gagner de temps.

Pour cette initiation à la recherche, il serait intéressant de faire la partie pratique, dans le but de transformer la pomme de terre aux micro-ondes en sous produits en utilisant des différentes variétés de pomme de terre.

Conclusion

Chapitre III :
La cuisson et le
séchage de pomme de
terre

III. Cuisson et séchage de pommes de terre par micro-ondes :

III.1. La cuisson aux micro-ondes et la cuisson conventionnelle

Plusieurs études ont noté que la cuisson aux micro-ondes des aliments, et notamment de pommes de terre montre des avantages sur le plan organoleptique et nutritif. En effet, le traitement micro-ondes est un traitement relativement rapide, ce qui nous permet de dire que la qualité du produit n'est pas largement affectée. Grâce au temps de chauffage court, les caractéristiques traitées des produits cuits et/ou pasteurisés se rapprochent de celles d'un produit frais : couleur, goût, texture, vitamines [44]. De même, le traitement micro-onde ne modifie pas la valeur nutritionnelle que les autres modes de cuisson. En ce qui concerne les protéines, on observe la même dénaturation que lors de tout autre traitement à la chaleur. Les compositions en graisses ou en acides gras ne sont pas particulièrement modifiées et les phénomènes d'oxydation se développeraient moins que dans le cas d'autres traitements conventionnels. La perte en vitamines (A, E) ne semble pas accentuée par le chauffage par micro-ondes et dans le cas de vitamines hydrosolubles, il y aurait même globalement un effet favorable sur la préservation de celles-ci car le traitement thermique est moins sévère [45]

III.1.1. La cuisson des chips

La méthode de cuisson aux micro-ondes et la méthode conventionnelle sont appliquées dans la transformation de pommes de terre en chips, les étapes de transformation varient selon la méthode appliquée.

III.1.1.1. Cuisson aux micro-ondes [26]

Les étapes suivantes sont utilisées dans la cuisson de pommes de terre aux microondes :

- Nettoyage, lavage et l'épluchage des pommes de terre
- Mettre les pommes de terre dans un bol et arrosons avec un peu d'huile d'olive pour les enrober.
- Mettre un morceau papier absorbant sur le carrousel de micro-onde et déposer une seule couche de tranche de pomme de terre.
- Cuire au micro-onde de 1/2 à 4 minutes en fonction de micro-onde, de la taille des tranches de pomme de terre, de l'épaisseur coupées.
- Quand ils deviennent uniformément brun doré, ils sont prêts. Arrêtons la machine pour les vérifier si nécessaire, et retirons les copeaux qui brunissent plutôt que les autres. Répétons pour le reste des tranches et réutiliser la doublure en papier.
- Saupoudrons de sel, poivre fraîchement concassé ou tout autre mélange d'herbes selon le gout recherché.

III.1.2. La cuisson conventionnelle [26] :

Les étapes suivantes sont appliquées dans la cuisson conventionnelle de pommes de terre :

- Epluchage et lavage des pommes de terre puis découpage en fines lamelles d'une épaisseur variant entre 1 à 4 mm, elles doivent avoir une même épaisseur pour que les chips aient une couleur homogène après la cuisson.
- Les rondelles sont ensuite lavées à l'eau froide pour éliminer l'amidon qui s'est libéré par le découpage et aussi pour éviter qu'elles se collent, puis les séchées soit par un tamis vibrant ou par un système de ventilation.
- Les lamelles sont transportées vers la friteuse par band roulante où l'huile est chauffée à 180°C, elle ne doit pas être basse pour que les chips n'absorbent pas d'huile. Et pour la durée de cuisson, elle varie en fonction d'épaisseur et de la teneur en matière sèche, mais elle dure généralement entre 2 et 5 minutes.
- Les chips ne doivent pas cuire long temps si non ils auront un mauvais goût et pour la coloration on doit veiller pour qu'elle ne soit pas foncée.
- Après la cuisson, on enlève les éventuels chips trop brun ou pas assez cuits, puis tandis que les chips sont encore chaudes, des antioxydants et pour le saupoudrage de la saveur choisie a lieu avant celui de sel.

III.1.2. Comparaison entre les deux méthodes de cuisson des chips

La friture est une méthode de cuisson très utilisée, rapide et pratique où les aliments sont immergés dans l'huile chaude (généralement entre 170 et 190°C) conduisant à une vaporisation intensive de l'eau à l'intérieur des aliments et à son transport à travers la surface [46]. Dans ce processus, un transfert simultané de chaleur et de masse se produit, comme dans le processus de séchage. Le déplacement hors de l'échantillon est remplacé par l'huile de friture se déplaçant dans l'échantillon [46,47]. Les produits alimentaires frits ont des propriétés sensorielles spécifiques souhaités par le consommateur, en termes de couleur, de saveur, de texture et d'appétence à la suite de nombreuses réactions chimiques, telle que le brunissement. Cependant, la consommation d'huile et la teneur en acrylamide (en termes de féculés) des produits frits, et la dégradation des lipides qui se produit pendant le processus de friture sont des faits importants qui doivent être pris en compte en termes de qualité organoleptique.

Dans des études récentes, le chauffage par micro-ondes a été utilisé comme méthode de friture alternative, avec ses avantages de réduire le temps de cuisson [48, 49], obtenant des produits frits moins l'absorption d'huile [48], une dégradation moindre de

l'huile [50] et une teneur plus faible en acrylamide [49, 51] La condition optimale s'est avérée être la friture à un niveau de puissance micro-ondes de 550W pendant 2,5 min dans l'huile de tournesol.

Les auteurs ont déclaré que la friture aux micro-ondes dans des conditions optimisées fournissait des pommes de terre frites avec une absorption d'huile plus faible et réduisait le temps de cuisson conventionnel de 44,45%.

III.2. Séchage de pommes de terre par micro-ondes

Le séchage de pomme de terre a été réalisé par des micro-ondes ; Ce type du séchage est une méthode efficace de temps et d'énergie qui peut améliorer la qualité du produit dans certains cas [52], il se caractérise par l'absorption d'un rayonnement électromagnétique par le produit à chauffer [53]. Les vagues électromagnétiques agissent l'une sur l'autre directement avec des particules ioniques et dipolaires, entraînant l'excitation et le frottement [52].

La technique de micro-ondes a été comparé avec d'autres méthode de séchage tel que le micro-onde combiné avec l'air chaud ou froid, dans l'objectif de retirer la meilleure méthode de séchage de pommes de terre. En effet, l'étude de **Patrick et Timothy (1994)** sur le séchage aux micro-ondes et par convection des tranches de pomme de terre. En fixant les paramètres de séchage (épaisseur = 1,5 ; la vitesse de l'air 0.032m³/sec ; température de l'air chaud = 65°C, température de l'air frais = 18°C) a donné les résultats suivants : le taux de séchage par micro-ondes est de 70%, par micro-onde combiné avec l'air chaud est de 14% et pour la dernière méthode : par micro-onde combiné par l'air froid est de 45%. En conséquence la technique de séchage de pomme de terre par micro-onde est la meilleure que celles combinées avec l'air chaud ou froid.

Pour le séchage de pommes de terre aux microondes, l'épaisseur des tranches influence sur le temps de séchage. **Patrick et Timothy (1994)** ont démontré que le séchage de la pomme de terre en utilisant ces paramètres : épaisseur : $e_1=1.5$ et $e_2=2$ mm; puissance=160 W; a donné les temps de séchage $t_1= 450$ s et $t_2= 800$ s, respectivement. Aussi, **Hadi et Seyed, (2019)** ont étudié l'effet des paramètres : épaisseur des tranches sur le temps de séchage, les résultats montrent qu'en augmentant l'épaisseur de 3,5 à 9 mm ils le temps de séchage augmente de 320 à 750s. De ce fait, plus que la tranche est épaisse, plus la durée de séchage est longue.

Le séchage de la pomme de terre par micro-ondes est la meilleure méthode, et pour l'effectuer rapidement avec un taux élevé, les tranches doivent être minces pour gagner de temps.

Conclusion

Conclusion

La pomme de terre (*Solanumtuberosum*. L) est l'un des légumes les plus populaires au niveau national et international grâce à sa composition nutritionnelle. Les industries alimentaires utilisent la pomme de terre comme matière première dont la fabrication de plusieurs produits tels que : l'amidon, la farine, les chips....par diverses méthodes (micro-ondes, conventionnelle).

Cette recherche bibliographique est basée sur la détermination des généralités sur la pomme de terre et sur les micro-ondes ainsi que sur l'application des micro-ondes dans la transformation des aliments, et particulièrement dans la transformation de la pomme de terre.

Ce travail présente les résultats de certaines études publiées sur l'utilisation des micro-ondes dans la transformation (séchage et cuisson) de pommes de terre en sous-produits. Les auteurs ont déclaré que la friture aux micro-ondes dans des conditions optimisées fournissait des pommes de terre frites (chips) avec une absorption d'huile plus faible et réduisait le temps de cuisson conventionnel. Pour le séchage de pommes de terre aux micro-ondes, l'épaisseur des tranches influence sur le temps de séchage. Ainsi, plus que la tranche est épaisse, plus la durée de séchage est longue. Le séchage de la pomme de terre par micro-ondes est la meilleure méthode, et pour l'effectuer rapidement avec un taux élevé, les tranches doivent être minces pour gagner de temps.

Pour cette initiation à la recherche, il serait intéressant de faire la partie pratique, dans le but de transformer la pomme de terre aux micro-ondes en sous produits en utilisant des différentes variétés de pomme de terre.

*Références
bibliographiques*

Les références

- [1] djaafour N., 2019, master académique, État des lieux de la filière pomme de terre dans la région d'El Oued, Université El Chahid Hamma Lakhder El-Oued.
- [2] Gallawa, J. C., 2007, " the complete microwave oven service handbook 2007." microtech,florida
- [3] Boufares, 2012, thèse de magistère comportement de trois variétés de pommes de terre (*spunta, desiree et chubak*) entre deux milieux de culture substrat et hydroponique, université Abou bekrbelkaid, Tlemcen.
- [4] C.I.P, 2008 : centre international de pomme de terre, 2008
- [5] Saguez J., 2007. Dérégulation des activités chitinases: vers de nouvelles perspectives de lutte contre les aphides. Thèse de Doctorat en science et santé. Université de Picardie, Faculté des sciences, Jule Verne. 119p
- [6] Kechid M., 2005, thèse de magister en biotechnologie végétale, physiologie et biotechnologie de la micro tuberisation de la pomme de terre *solanumtuberosum*. L., université Mentouri, constantine
- [7] Hawkes J G., 1990, the potato. Evolution, biodiversity and geneticresources. Londres : belhavenpress.
- [8] Rousselle P., Robert Y., Crosnier J.C, 1996. La pomme de terre, inra paris.
- [9] Bamouh H., 1999, technique de production de la culture de pomme de terre, bulletin mensuel d'information et de liaison du pnnta.
- [10] Rousselle P., Rousselle B., Ellisseche D., 1992, la pomme de terre in amélioration des rymond chabaud-lechvaller.
- [11] Bernhards, 1998, la pomme de terre *solanumtuberosum* l. Monographie institut national agronomique paris – grignon.
- [12] Soltner, 1979: les grandes productions vegetales phytotechnie speciale.
- [13] Chabah, 2016, Mémoire de master, contribution a l'étude de la production de quelques varietes de pomme de terre dans la région de Tlemcen. Université de Tlemcen
- [14] Belguendouz, 2012, essai de substitution des milieux de culture en micropropagationet et la physiologie de la micro tuberisation de la pomme de terre (*solanumtuberosum*. L), thèse de magister : universite abou bekrbelkaid, tlemcen.
- [15] FAO, 2008 : <http://www.fao.org/home/en/>

Les références

- [16] ITCMI, 1989, fiche technique des variétés de pomme de terre cultivées en Algérie.
- [17] FAO.STA : food and agriculture organization. Statistiques mondiale de pomme de terre.consulte le 20/03/2019 et 04 /11/2018.
- [18] FAO, 2010 : food and agriculture organization.
- [19] FAO, 2014 : food and agriculture organization
- [20] FAO 2018 : DSA, 2018 : donnees statistiques et climatiques de la wilaya d d'el-oued
- [21] OADA, 2018 .organisation arabe de developpement de l'agriculture, food and agriculture organization.annuaire statistique.
- [22] Onfaa, 2014, memento de la pomme de terre .observatoire des filieres agricoles et Agroalimentaires (madr).
- [23] FAO.STA.2010, Food and Agriculture Organization .Statistiques mondiale de pomme de terre.
- [24] ITPT-COLLECTIF, 1995**
- [25] Madr, 2013, la culture de pomme de terre : production et possibilite pour la transformation. Institut technique descultures maraicheres et industrielles ITCMI. Journée de la pomme de terre ccidahra Mostaganem.
- [26] C.C.E, 1974 : commission des communautés européens, 1974, les produits drivés de la pomme de terre.
- [27] Pichowicz, M., Simpkins, N. S., Blake, A. J. et Wilson, C., 2006, "Synthesis towards complex bridged alkaloids derived from diketopiperazines: a cationic cascade approach to stephacidins, paraherquamidesandrelatedsystems. « tetrahedronletters »
- [28] Zhang, 2006, a nalysis o f moisture a nd f at us ing microwalve and nmr technology. Beijing, world publishing corporation.
- [29] Virot, Tomao, Colnagui, Visinoni, Chemat, 2007, "New microwave integrated Soxhlet extraction an advantageous tool for the extraction of lipids from food products." Journal of Chromatography.
- [30] Fang, q. Q., meaney, p. M. et paulsen, k. D, 2010. "Viable Three-Dimensional Medical Microwave Tomography: Theory and Numerical Experiments." IEEE Transactions on Antennasand Propagation.
- [31] Aurelie cendres, 2010, thèse : Procédé novateur d'extraction de jus de fruits par micro-onde : viabilité de fabrication et qualité nutritionnelle des jus, Université d'Avignon.

Les références

- [32] Delmotte M., Pinto N. et Berteaud A.J., 1998, Mise en œuvre des micro-ondes.
- [33] Rougier C., 2003, Etude des interactions entre la bactérie *Escherichia coli* et les micro-ondes appliqués en mode discontinu dans des conditions faiblement thermique, thèse soutenu a la faculté des sciences et techniques de l'université de l'imoges.
- [34] Mathavi V, Sujatha G, S-B Ramya et Karthika B -M. Food Technology and Assistant Professor, College of Food and Dairy Technology. (2013). New trends in food processing, International Journal of Advances in Engineering and Technology.
- [35] Djinni zoubida, 2008, thèse de doctorat, étude du processus des d'isomérisation du du m-xylène : réaction, catalyseurs et modes de chauffage conventionnel et micro-onde, université de Boumerdes.
- [36] Verot, 2009, « soxhlet a assisté par micro-onde, conception et application à l'extraction des matières grasses, », thèse de doctorat, université d'Avignon.
- [37] Krishnamurthy, K., Khurana, H. K., Jun, S., Irudayaraj, J. et Demirci, A. (2008). "Infrared heating in food processing: An overview." *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 7(1): 2-13.
- [38] Bozkurt, H. et Icier, F. (2010). "Ohmic cooking of ground beef: Effects on quality." *Journal of Food Engineering* 96(4): 481-490.
- [39] Goldblith S.A. et wang D.I.C, 1967. Effect of microwaves on escherichia coli and bacillus subtilis. *Applied microbiol.*
- [40] Mudgett, R.E., 1986, microwave properties and heating characteristics of foods. *Food technology.*
- [41] Singh Et Heldman, 1993, heat transfer in food processing. In: introduction to food engineering. Third edition. Academic press.,
- [42] Akkari, Chevallier, Boillereaux, 2006 "observer-based monitoring of thermal runaway in microwaves food defrosting." *journal of process control.*
- [43] Kozempel, M., anous, B.A, Cook, R., Scullen, O.J., Whiting, R., 1998, Inactivation of microorganisme with microwaves at reduced temperature, *journal of food protection.*
- [44] Cheftel J.C., Cheftel H., Besançon, 1997, traitements de préservation par la chaleur. In : introduction a la biochimie et la technologie des aliments. Tec et doc, lavoisier, Paris.

Les références

- [45] Finot P.A., 1996, effets du traitement par les micro-ondes sur la qualite nutritionnelle des aliments. Cahiers de nutrition et de dietetique.
- [46] Ni, Datta, 1999, Moisture transport in intensive micowave heating of biomaterials
- [47] Tangduangdee, C., Bhumiratana, S., Tia, S., 2003. Heat and mass transfer during deep-fat friying of frozen composite foods with termal protein denaturation as quality index.
- [48] Oztop, M.H, Sahin, S., Sumnu, G., 2007. Optimization of microwave friying of potatos slices by using taguchi technique.
- [49] Sahin, S., Sumnu, G., Oztop, M.H., 2007. Effect of astomic pretreatment and microwave friying on acraylamide formation in potato strips.
- [50] Chen, S.D., Chen, H.H, Chao, Y.C., Lin. R, S, 2009. Effect of batter formula on quality of deep-fat and microwave fried fish nuggets.
- [51] Barutcu, I., Sahin, S., Sumnu, G, 2009, Acrylamide formation in different batter formulation during microwave friying LWT.
- [52] Li, Z. ; Raghavan, G. et Orsat, V. (2010). Temperature and power control in microwave drying. Journal of food Engineering.
- [53] Roussy, G. ; Rochas, J.F. et Oberlin, C., 2003, Chauffage diélectrique-Technologies. Technique de l'ingénieur. Electrothermie industrielle.
- [54] Patrick et Timothy, 1994, Microwave and convective drying of potato slices.
- [55] Hadi et Sayed, 2019, study the effect of microwave power and slices thickness on drying characteristics of potato.

Résumé

Le présent travail est une synthèse bibliographique sur l'utilisation des microondes dans la transformation de pommes de terre. Le document est divisé en trois chapitres :

Le premier chapitre concerne des généralités sur la pomme de terre. La pomme de terre (*Solanumtuberosum.L*) est une plante vivace des solanacées, la culture de tubercules est la plus cultivée au monde, se classant quatrième après le riz, le maïs et le blé. Le deuxième chapitre est consacré sur les microondes et l'application des microondes dans la transformation des aliments, en particulier dans le chauffage, la cuisson, la pasteurisation et la stérilisation, la décongélation et le blanchiment des aliments. Le troisième chapitre traite la cuisson et le séchage de pommes de terre par microondes. En effet, ce chapitre présente les résultats de certaines études publiées sur l'utilisation des micro-ondes dans la transformation (séchage et cuisson) de pommes de terre en sous-produits.

Mots clés : *Solanumtuberosum.L*, pomme de terre, micro-ondes, transformation.

Abstract

This work is a bibliographical synthesis on the use of microwaves in the processing of potatoes. The document is divided into three chapters : the first chapter concerns generalities on the potato. Potato (*solanumtuberosum.L*) is a perennial solanaceae, the tuber crop is widely cultivated in the world, and it takes the fourth place after the rice, corn, and wheat. The second chapter is devoted to microwaves and his applications in food processing, particularly in heating, cooking, pasteurization and sterilization, thawing, and blanching of food. The third chapter deals with cooking and drying potatoes using microwaves. Indeed, this chapter presents the results of some published studies on the use of microwaves in the transformation (drying and cooking) of potatoes into by-products.

Keywords : *Solanumtuberosum.L*, potatoes, microwaves, transformation